



**LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
*Lahti University of Applied Sciences*

# 3D-KOMPOSITOINTI

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Mediatekniikka  
Tekninen visualisointi  
Jere Piirainen  
Kevät 2015

Lahden ammattikorkeakoulu  
Mediatekniikka

PIIRAINEN, JERE:

3D-kompositointi

Teknisen visualisoinnin opinnäytetyö, 43 sivua

Kevät 2015

## TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetyössä käydään läpi yleisimpiä 3D-kompositointiin liittyviä tekniikoita sekä kompositointiin käytettyjä ohjelmia ja liitännäisiä. Työssä esitellään myös kompositoinnin juuret 1800-luvun lopulta aina nykyaikaiseen digitaaliseen kompositointiin asti.

Kompositointi on yksinkertaisimmillaan usean kuvan liittämistä saumattomasti yhdeksi uskottavaksi kokonaisuudeksi. Vaikka prosessi vaatii visuaalista silmää, vaatii se myös paljon teknistä osaamista. Tämän lisäksi perusymmärrys kameran optiikasta on oleellista, sillä lähtökohtaisesti kompositoitua maailmaa pyritään esittämään kameran linssin läpi. Liikkuvaa kuvaa kompositoitaessa ei riitä, että kuva on visuaalisesti hyvän näköinen, vaan myös tarinankerrontaa tukevien elementtien tulee olla läsnä. Myös kokonaisuuden on oltava yhtenäinen, jottei katsoja harhaannu tarinasta.

Teoria-osuus toimii pohjana Zeta Fighters -mobiilipelin cinematic-trailerille, jonka kompositointityövaiheita käydään läpi opinnäytetyön case-osiossa. 3D-animoidun trailerin kompositoinnissa käytettiin Adoben After Effects -ohjelmaa 3. osapuolen Element 3D -liitännäisen kanssa.

Asiasanat: 3D, Adobe After Effects, deep-kompositointi, depth-kompositointi, Element 3D, OpenEXR, render pass, Zeta Fighters

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Media Technology

PIIRAINEN, JERE:

3D Compositing

Bachelor's Thesis in Visualisation Engineering, 43 pages

Spring 2015

## ABSTRACT

---

This Bachelor's thesis introduces the most common software and plug-ins used in 3D compositing. The thesis also explores the history of compositing from the late 19th century all the way to modern digital compositing.

Compositing refers to combining multiple images into one seamless and believable final image. The process requires an excellent visual eye but also a lot of technical knowledge. In addition, a basic understanding of the real-world camera optics is essential because world in films is often simulated as how it would look like if shot with a real camera. While compositing a film it is not enough that the image is visually good looking but it also needs to stay coherent and support the overall story.

The theory part of the thesis is used as a basis to the compositing process of a cinematic trailer made for Zeta Fighters, the mobile game. The compositing of this fully 3D animated trailer was done in Adobe After Effects using a 3rd party plug-in, Element 3D. The process is described in detail in the case section of this bachelor's thesis.

Key words: 3D, Adobe After Effects, deep-compositing, depth-compositing, Element 3D, OpenEXR, render pass, Zeta Fighters

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	KOMPOSITOINNIN HISTORIA	3
3	KOMPOSITOINTITEKNIIKAT	7
3.1	Layer-pohjainen kompositointi	7
3.2	Node-pohjainen kompositointi	8
4	3D-KOMPOSITOINTI	10
4.1	Multipass-renderöinti	10
4.2	Depth-kompositointi	13
4.3	Deep-kompositointi	15
4.4	3D-kompositointi After Effectsissä	18
4.4.1	Cinema 4D Lite	19
4.4.2	Element 3D	20
4.5	Avainnus	21
4.6	Kamera	22
4.6.1	3D-cameratracking	23
4.6.2	Syväterävyys	25
4.6.3	Liike-epäterävyys	26
4.6.4	Linssiheijastukset	26
4.6.5	Kohina	27
4.6.6	Kromaattinen aberraatio	28
4.7	Värimäärittely	28
5	CASE: ZETA FIGHTERS CINEMATIC TRAILER	31
5.1	Animointi ja kompositointivaihe	32
5.2	Jälkikäsittely	36
6	YHTEENVETO	38
	LÄHTEET	39

# 1 JOHDANTO

Nykyaikainen elokuvatuotanto on saanut paljon kritiikkiä CGI-tehosteiden (tietokoneella luodun grafiikan) yhä runsaammasta käytöstä. Monet toivovatkin paluuta efektittömien ja visuaalisesti kevyempien elokuvien aikakauteen. Totuus on kuitenkin, että jo 1800-luvun lopulla ensimmäiset elokuvantekijät, kuten Gerges Méliés ja Lumiéren veljekset, käyttivät ja kehittivät vastaavia tekniikoita toteuttaakseen taiteelliset visionsa valkokankaalla. Nykyaikaisissa, moderneissa elokuvissa erikoistehosteet ovat dramaturgisesti näkyvämmässä osassa kuin koskaan ennen. Tämän on mahdollistanut digitaalisen tekniikan huima kehitys viime vuosikymmeninä. Erikoistehosteet ovat kuitenkin aina olleet läsnä elokuvissa, ja täysin tehosteetonta elokuvan aikakautta ei koskaan ole ollut. (Filmmaker IQ 2013.)

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia nykyaikaisia, digitaalisen videon 3D-kompositointiin liittyviä tekniikoita ja sen juuria 1800-luvun lopulta, paljon ennen alan digitaalista kulta-aikaa. Työssä käydään läpi useita kompositointitekniikoita sekä node- että layer-pohjaiset kompositointityötavat, vaikka pääpaino tulee olemaan Adoben After Effects -ohjelman layer-pohjaisessa kompositoinnissa, jota hyödynnetään luvun 5 case-osuudessa.

Case-osuudessa käydään läpi Digital Hammer -pelifirmalle Zeta Fighters -mobiilipelin Saksan julkaisua varten tehdyn cinematic-trailerin kompositointityövaiheita. Työ on kokonaisuudessaan 3D-mallinnusta ja värikorjausta lukuunottamatta tehty After Effectsin CS5,5-versiolla hyödyntämällä useita liitännäisiä. Videocopilotin Element 3D on yksi näistä liitännäisistä, ja se mahdollistaa mahdollisen 3D-kompositoinnin suoraan After Effectsissä. Ilman liitännäistä 3D-mallien animointi, kompositointi ja teksturointi olisi ollut hyvin vaikea, ellei mahdollon, toteuttaa ilman 3D-ohjelmassa tehtyjä animaatioita ja renderöintejä. Lopullinen värimäärittely tehtiin kuitenkin Adoben Premiere Pro CS5,5 -ohjelmassa, samalla kun After Effects -kompositiot leikattiin yhteen ääniraitojen kanssa. Trailerin ja pelin julkaisupäivät ovat huhtikuussa 2015.



KUVA 1. 3D-hahmojen kompositointia 3D-mallinnettuun ympäristöön Autodeskin Flame-kompositointiohjelmassa (Autodesk 2015)

## 2 KOMPOSITOINNIN HISTORIA

1800-Luvun lopulla Ranskalainen Georges Méliés, yksi maailman ensimmäisistä tunnetuista elokuvantekijöistä kehitti filmin osittaiseen valotukseen perustuvan kompositointitekniikan, mikä on ollut perustana nykyaikaiselle greenscreen-kompositoinnille. Elokuvassaan *Un Homme De Tête* (Four Heads are better than one) Méliés käytti mustaksi maalattua lasia mustaamaan filmistä ne kohdat, jonne hän halusi kompositoida kuvaa. Tekniikka vastaa nykyaikaista mattea, joka on yksinkertaisimmillaan mustavalkoinen kuva, jonka avulla saadaan yhdistettyä kaksi erillistä kuvaa yhdeksi. Matten valkoinen väri määrittää alueen kuvasta, mikä näkyy lopullisessa kuvassa. Vastaavasti mustat alueet leikkaantuvat pois ja harmaat alueet näyttävät kuvan osittain läpinäkyvänä, sen mukaan mitä tummempi harmaan sävy on. Méliésin matten käyttö johti siihen, että mustat kohdat filmistä eivät valottuneet ollenkaan. Méliés pystyi kelaamaan filmin alkuun ja siirtämään matten peittämään jo valottuneet kohdat ja valottamaan ainoastaan sen kohdan, joka jäi valottumatta aikaisemmin. Näin hän sai yhdistettyä kameraan useampia otoksia yhdeksi kuvaksi. (Filmmaker IQ 2013.)

1900- ja 1910-luvuilla elokuva kehittyi entisestään, kun alettiin käyttää matte painting-tekniikkaa maalaamalla lavasteiden laajennuksia lasilevyille, jonka taakse asetettu kamera saisi yhdistettyä maalauksen ja videokuvan lasilevyn toiselta puolelta yhdeksi kompositioksi. Tekniikassa oli kuitenkin ongelma, sillä se piti maalata paikan päällä kuvaustilanteessa, jotta maalaus saataisiin yhdistettyä saumattomasti taustaan. (Filmmaker IQ 2013.) Norman Dawn ratkaisi ongelman muuttamalla tekniikan matte-kuvaksi maalaamalla tai teippaamalla lasista rajapinnan, josta hän halusi valokuvan yhdistyvän elokuvaan kuvan 2 osoittamalla tavalla. Näin ollen taiteilija voisi viimeistellä rauhassa kuvan 2 vasemman alareunan mukaisen elokuvan vasta kuvausten jälkeen. (Agarunov 2010.)



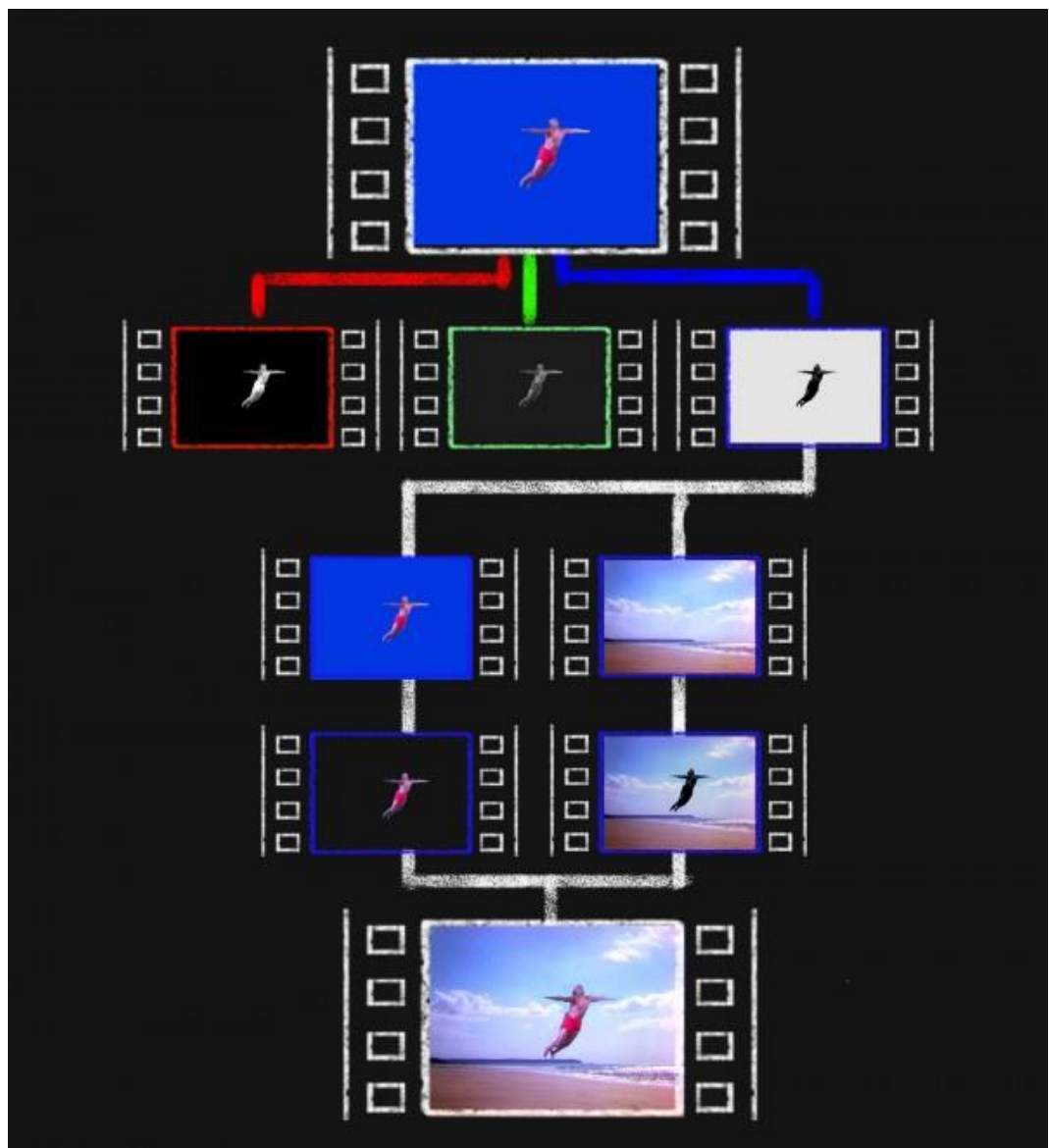
KUVA 2. Norman Dawnin mattepainting-kuvan tekoprosessi (Agarunov 2010)

Matte-kuvissa oli kuitenkin ongelma, sillä niiden piti pysyä täysin paikallaan, joten kamera ei voinut olla liikkeessä. Myöskään toiminta ei saanut ylittää rajaa todellisen kuvan ja matte paintingin välissä. Frank Williams patentoi ratkaisun ongelmaan kehittämällä matten joka pystyi liikkumaan kuvassa, mitä kutsuttiin Travelling Matteksiksi. Prosessissa näyttelijää kuvattiin täysin mustaa taustaa vasten. Sitten filmiä kopioitiin jatkuvasti suurempi kontrastisiksi negatiiveiksi, kunnes saatiin luotua mustavalkoinen siluettikuva, jota voitiin käyttää mattena. (Filmmaker IQ 2013.)

Työskentelytavassa oli kuitenkin edelleen ongelmia, sillä esimerkiksi varjot hävisivät kokonaan kontrastia nostettaessa. Tähän C. Dodge Dunning vuonna 1925 keksi ratkaisun, jota ruvettiin kutsumaan Dunning prosessiksi. Musta tausta kuvauskohteen takana korvattiin sinisellä taustalla ja etualan kohde värjättiin valoilla ja filtereillä keltaiseksi, jotta ne myöhemmin voitaisiin erottaa toisistaan matten luomiseksi. Dunning-prosessi nähtiin valkokankaalla ensikerran King Kong -elokuvassa, vuonna 1933. (Filmmaker IQ 2013.)



Värifilmin käytön yleistyminen kuitenkin syrjäytti Dunning-prosessin, sillä tekniikka toimi ainostaan mustavalkofilmillä. Larry Butlerin 3 strip technicolor -prosessi syrjäytti edeltäjänsä. Siinä kuvattavaa kohdetta kuvattiin sinistä taustaa vasten, minkä jälkeen sininen erotettiin kolmesta technicolor-negatiivista ja saatiin Williamsin mustavalkosiluettia vastaava matte. Sinistä käytettiin, koska se on kauimpana ihon väristä ja se kohisee vähiten kamerassa. Siihen aikaan vasta keksityllä optisella printterillä voitiin yhdistää useampia filminauhoja. Näin saatiin kuvattava kohde yhdistettyä erilliseen taustakuvaan, kun kuvasta oli ensin värinegatiivien avulla luotu travelling matte. (Filmmaker IQ 2013.)



KUVA 3. Butlerin prosessi (Filmmaker IQ 2013)

Tekniikassa oli ongelmia, sillä se oli äärimmäisen aikaa vievää optisen printterin takia. Lisäksi matten reunassa näkyi lähes aina ohut sininen reuna, eikä prosessi käsitellyt hyvin ykistyiskohtia, kuten läpinäkyviä pintoja, hiuksia, savua tai motionbluria (liikkeestä johtuvaa epäterävyyttä). Ongelmista huolimatta tekniikkaa käytettiin vuodesta 1940 vuoden 1950 lopulle sen ollessa edeltäjiään parempi. (Filmmaker IQ 2013.)

50-Luvulla Hollywoodissa, Disney pääasiassa, kehiteltiin omia avainnustekniikoitaan, mutta mikään niistä ei yleistynyt. 50-Luvun loppupuolella MGM (Metro-Goldwyn-Mayer) -yhtiössä silloin työskennellyt Petros Vlahos huomasi, että useimmat värit eivät ole puhtaasti yksivärisiä. Värit, jotka eivät ole puhtaasti sinisiä tai vihreitä, sisältävät kuitenkin saman verran sinistä ja vihreää. Vlahos kehitti tehokkaan avainnustekniikan oivalluksensa pohjalta, mikä kuitenkin hyvin pitkälti perustuu Butlerin aikaisemmin kehittelemään prosessiin. Vlahosin monimutkainen prosessi vaati yhteensä 12 filmielementtiä negatiivin saamiseksi välinegatiiviksi, mutta se ratkaisi kuitenkin edellisen bluescreen-tekniikan reunan ja ykistyiskohtaongelmat. Tekniikkaa kehiteltiin ajan kuluessa nopeammaksi ja tarkemmaksi mikroprosessoreilla toimivilla optisilla printtereillä. Prosessi teki niin hyvää jälkeä, että se pysyi käytössä lähes 40 vuotta, kunnes digitaalinen kompositointi syrjäytti sen nopeampana ja tarkempana vaihtoehtona. (Filmmaker IQ 2013.)

### 3 KOMPOSITOINTITEKNIIKAT

On olemassa kaksi vallitsevaa kompositointitapaa: layer-pohjainen ja node-pohjainen. Molemmilla työskentelytavoilla pystytään teoriassa tekemässä samat asiat, jotkut asiat voivat olla toisella tekniikalla kuitenkin helpommin toteutettavissa. (Sudhakaran 2013.) Esimerkiksi 3D-animointiin ja kompositointiin liittyvät työkalut ovat useinmiten node-pohjaisissa kompositointiohjelmissa paremmat kuin layer-pohjaisissa. (School of motion 2014.) Kuitenkin muun muassa layer-pohjaiseen Adobe After Effects -kompositointiohjelmaan on saatavilla plugineja eli liitännäisiä, joilla helpotetaan muutoin haasteellista 3D-objektien käsittelyä. Näistä lisää luvussa 4.4.

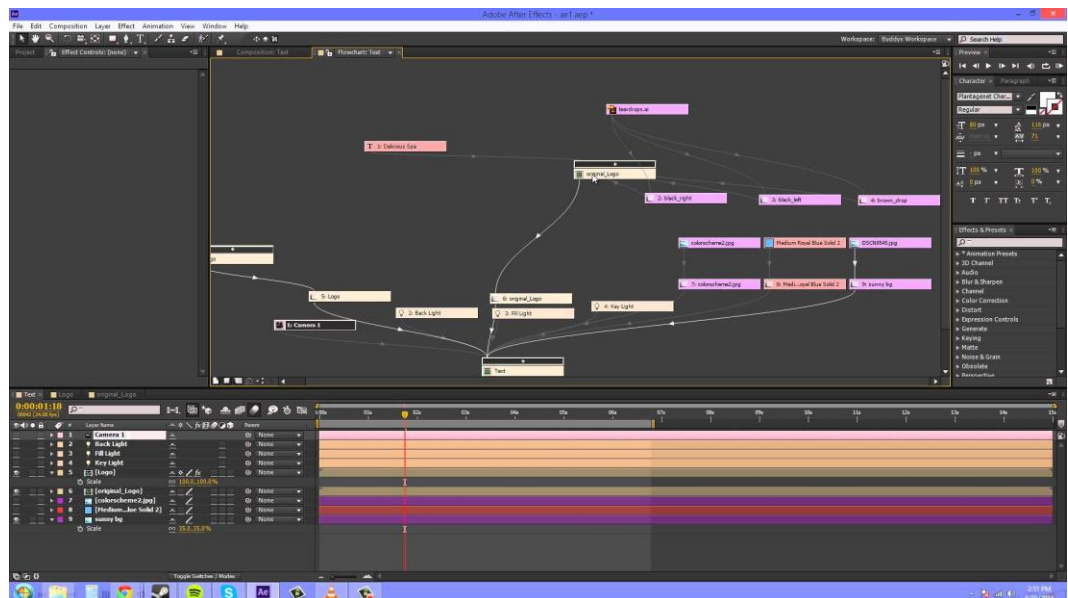
Tunnetuimpia node-pohjaisia ohjelmia ovat Autodeskin Flame, The Foundryn Nuke (Welsh 2010.) ja ennen Eyeonin omistama, mutta syksystä 2014 Blackmagicin omistuksessa oleva Fusion. (Montgomery 2014.) Layer-pohjaisista kompositointiohjelmissa Adobe After Effects sekä Hitfilm ovat tunnetuimpia.

#### 3.1 Layer-pohjainen kompositointi

Layer-pohjaisessa kompositoinnissa jokainen elementti on komposition aikajanal- la omana kerroksenaan eli layerinä, joista jokaiselle voidaan erikseen määritellä kesto, tehosteet ja etenkin jälkimmäiseen liittyen avainkehykset eli keyframet. Avainkehys määrittelee muun muassa layerin attribuutin arvon tietyssä ajassa tai näkymästä riippuen tietyssä framessa eli kuvakehyksessä. Jos layerille on määritetty yhdelle attribuutille useampi avainkehys, niin ominaisuuden arvo vaihtuu ensimmäisestä arvosta seuraavan avainkehysten arvoksi siinä ajassa, kuinka monta tyhjää kuvakehystä niiden välillä on. Muutoksen aikana ohjelma laskee väliarvoja annetuille arvoille, jolloin voidaan esimerkiksi liikuttaa kappale ruudun halki hallitulla nopeudella. Jos avainkehykset ovat peräkkäisissä kuvakehyksissä, arvo vaihtuu välittömästi. (Wikipedia 2015b.)

After Effectsissä 2D-layerit kasaantuvat päällekkäin ja alimmainen layer renderöityy ensin, ikään kuin taustakuvana, jonka päälle lopullista kuvaa lähetään kerroksittain rakentamaan. 2D-layereita voidaan käyttää myös 3D-tilassa, jolloin niitä voidaan liikuttaa syvyys-suunnassa Z-akselilla. 3D-tilassa layerit renderöityvät

syvyysjärjestyksessä, eli kameraa lähin layer renderöityy päällimmäisenä. Layer-pohjainen kompositointi soveltuu parhaiten 2D-liikegrafiikkaan ja rajoitetusti 3D-grafiikkaan. Monimutkaisissa kompositioissa tulee helposti hierarkisia ongelmia renderöinnin kanssa, kuitenkin esimerkiksi Adoben After Effects mahdollistaa komposition pre-kompositiotinnin, joka antaa käyttäjälle mahdollisuuden muuttaa layereiden renderöintijärjestystä kasaamalla tietyn osan kompositiosta tai koko komposition omaksi kokonaisuudeksi, jota voidaan myöhemmin hyödyntää osana toista kompositiota, lopullista kompositiota tehtäessä. Tätä monimutkaisempaa renderöintirakennetta voidaan tutkia normaalia työskentelynäkymää visuaalisemman flowchart-näkymän kautta. (Wikipedia 2015b.)



KUVA 4. Adobe After Effectsin flowchart-näkymä (Young 2014)

### 3.2 Node-pohjainen kompositointi

Node-pohjaiset kompositointiohjelmat on suunniteltu selviämään vaativimmistakin kompositioista, ja ne soveltuvat layer-pohjaista kompositointiohjelmiä paremmin 3D-mallien kanssa työskentelyyn. Ohjelma toimii linkittämällä kuva operaatioita toisiinsa node-kytkösten kautta. Nodet muodostavat yhdessä node-puun, joka visuaalisesti vastaa jossain määrin After Effectsin flowchart-näkymää. Operaatiot tapahtuvat graafisessa näkymässä olevien nuolien osoittamassa järjestyksessä. (Hedin 2010.)



KUVA 5. Node-puu Foundryn Nuke-kompositointiohjelmassa (Hand 2009)

## 4 3D-KOMPOSITOINTI

Kompositointi on luova prosessi, jossa useita eri elementtejä yhdistetään kerroksittain yhdeksi kokonaiseksi kuvaksi tai kohtaukseksi. Nämä elementit voivat olla 2D-valokuvia, videoita tai tietokoneella luotua grafiikkaa. 2D-kompositoinnissa jokainen elementti on tyypillisesti omana layerinään, mikä riittääkin hyvin tietyissä tapauksissa. 3D-kompositoinnilla voidaan kuitenkin tehdä asioita monipuolisemmin, sillä elementit voivat olla vuorovaikutuksessa keskenään ja niitä voidaan vapaammin sijoitella suhteessa toisiinsa. Elementit voivat näin luoda muun muassa valoja, varjoja ja heijastuksia muiden kappaleiden pinnoille. Tämänäyttöiset tehosteet voidaan myös tehdä 3D-ohjelmalla, jolloin esimerkiksi 3D-objektin pinnan valot ja varjot voidaan renderöidä erillisinä kuvina (ns. render pass) ulos kompositointiohjelman kuormittamisen vähentämiseksi. (Wiesen 2014.)

### 4.1 Multipass-renderöinti

Multipass-renderöinti on tehokas kompositointitekniikka, jossa 3D-mallien pintojen ominaisuudet, esimerkiksi valot ja varjot, voidaan renderöidä omiksi yksittäisiksi kuviksi tai kuvasarjoiksi. Tekniikassa on monia hyötyjä. Renderöimällä kohtausta osissa säästetään muistia ja tehoa huomattavasti, kun kaikkia objekteja tai kappaleen ominaisuuksia ei tarvitse kerralla renderöidä. Se myös helpottaa laskentatehoa vaativien projektien käsittelyä tavallisillakin tietokoneilla. Muutosten tekeminen on myös nopeampaa ja helpompaa, sillä esimerkiksi valaistusta muutettaessa ei tarvitse renderöidä kuin ne render passit, jotka määrittelevät valojen ja varjojen sijainnin, sen sijaan että renderöitäisiin uudelleen koko projekti. Näin saadaan myös paremmin hallittua muun muassa valojen, varjojen ja heijastusten intensiteettiä, sillä niitä voidaan esimerkiksi häivyttää ja epätarkentaa tarpeen mukaan, mikä on hyödyllistä etenkin live action -videoon kompositoidessa. Joissain tapauksissa 3D-objekti voidaan renderöidä still-kuvana tai kolmiulotteisen informaation säilyttävänä obj.-tiedostona ja kompositointiohjelmassa se voidaan synkronoida kameradatan kanssa ja monistaa useampaan kuvakehykseen tai käyttää uudelleen jopa toisessa kohtauksessa ja orientoida sitä tarpeen mukaan. Näin säästetään huomattavasti aikaa, kun jokaista kuvakehystä ei tarvitse erikseen renderöidä siirryttäessä 3D-ohjelmasta kompositointiohjelmaan. (Birn 2006.)

Layer-pohjaisissa kompositointiohjelmissa render passeja käytetään siten, että jokainen pass tuodaan omalle layerille. Seuraavaksi nämä layerit yhdistetään toisiinsa blend modeilla. Blend modeja on useita erilaisia, mutta kaikki yhdistävät määrätyn layerin alempiin layereihin kullekin toiminnolle ominaisen matemaattisen kaavan mukaan. Render passeja kompositoitaessa useimmiten käytetään multiply-, overlay-, soft light- ja screen-blend modeja. Näitä voidaan hienosäätää muuttamalla layerin opacity-arvoa tai käyttämällä värimäärittelytyökaluja kontrastin tai värin muuttamiseksi. (Photoblogstop 2011; Tavares 2015, 52.)

Mahdolliset käytössä olevat render passit riippuvat 3D-ohjelman renderöintimoottorista. Yleisimpiä render passeja, jotka löytyvät kaikista moottoreista, joskus pienin nimivariaatioin, ovat muun muassa seuraavat:

Beauty pass eli valmis kooste kaikista render passeista (Christiansen, 2011, 408).

Diffuse pass (tai ohjelmasta riippuen color pass) pitää sisällään väri- ja tekstuurinformaation, mutta siihen ei kuitenkaan kuulu varjostukset, valaistus eikä heijastukset (Christiansen 2011, 408).

Specular pass (highlight pass) määrittelee valaistuksen kuvassa. Sitä voidaan käyttää myös glow passina hehkun tekemiseen sumentamalla passin valkoisia kohtia ja nostamalla niiden kirkkautta. Pass yhdistetään muihin kuviin add- tai screen-blend modeilla (Christiansen 2011, 407-408).

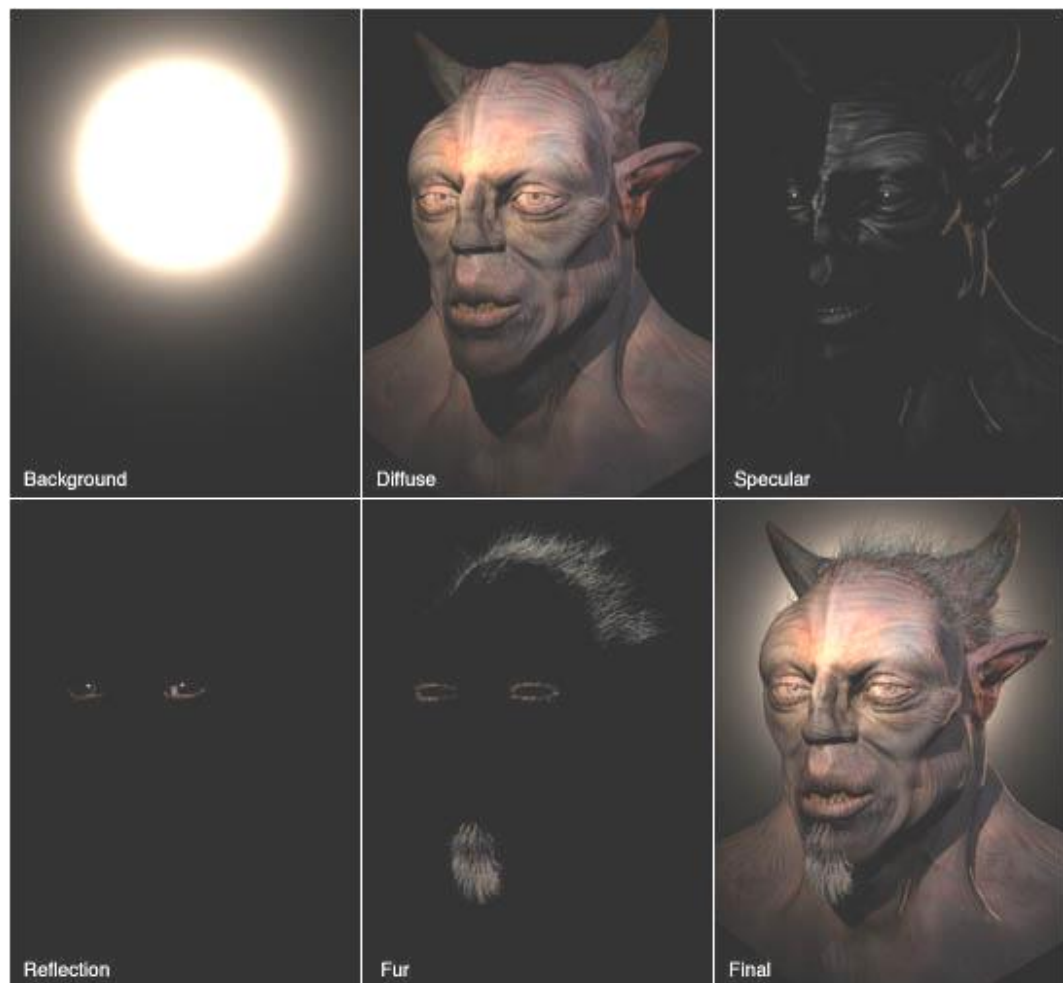
Reflection pass piirtää heijastukset kappaleiden pinnoille, sillä voidaan täydentää tai joissain tapauksissa jopa kokonaan korvata specular pass (Birn 2006).

Illumination pass (tai toisinaan emission pass) renderöi vain valonlähteen mustalle pohjalle vaalealla värillä (Christiansen 2011, 408).

Shadow pass näyttää varjojen sijainnit ja määrittelee, miten ne osuvat muihin 3D-kappaleisiin. Shadow pass näyttää varjot valkoisena mustalla pohjalla, mustana valkoisella pohjalla tai piirtämällä varjojen muodot alpha-kanavalle, riippuen renderöintiin käytetystä moottorista (Birn 2006).

Ambient occlusion -passilla voidaan myös tehdä varjostuksia, vaikka se tekeekin varjoja vain toisiinsa osuvien kappaleiden rajapinnoille. Ambient occlusion sekä

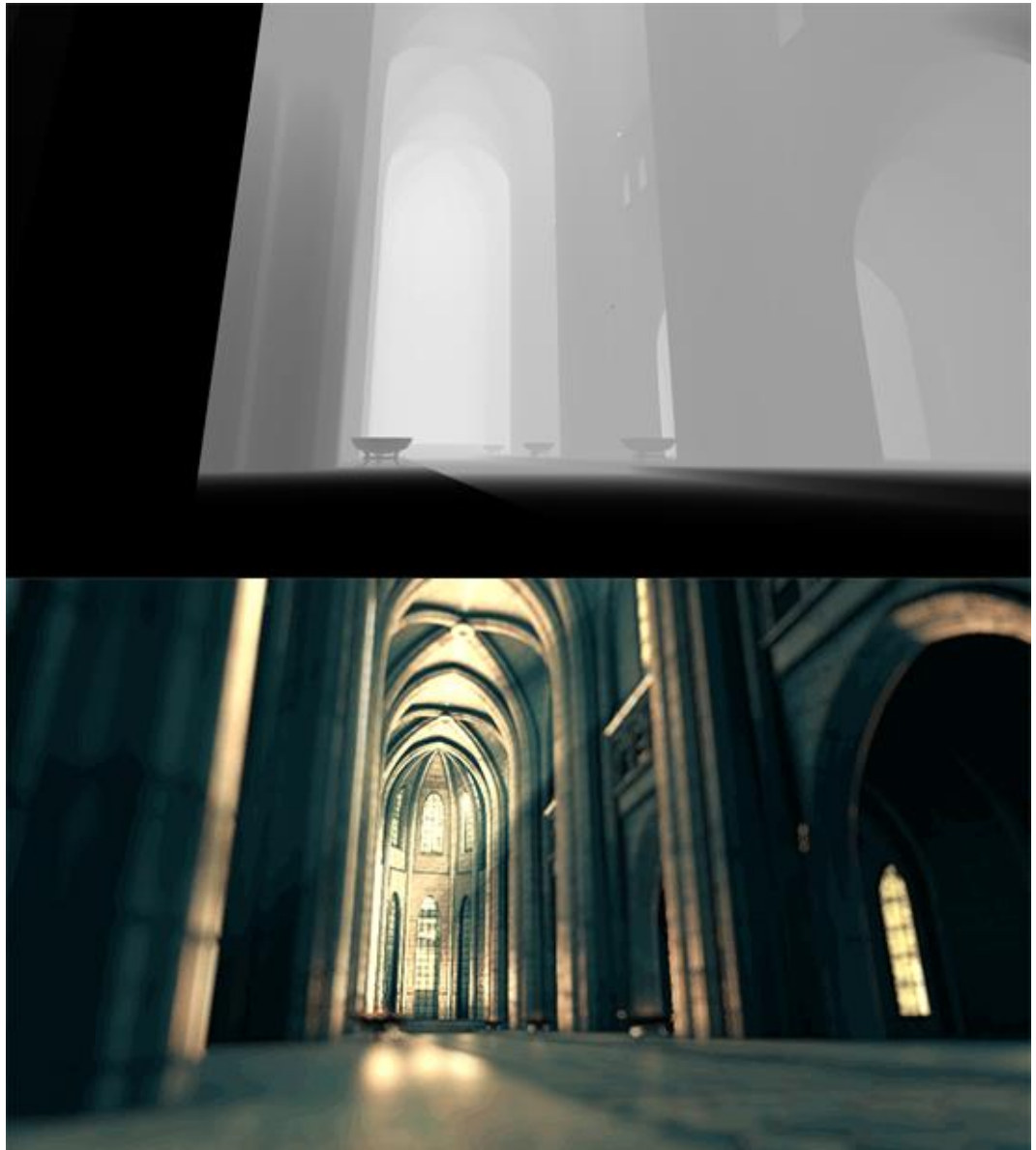
shadow passit voidaan molemmat kompositoida multiply-blend modella (Christiansen 2011, 408).



KUVA 6. Joukko render passeja, jotka on kompositoitu yhteen Final-kuvassa (Alvarez 2014)

Myös tehosteille voidaan tehdä tarvittaessa renderpasseja ja alpha maskeja, jolloin ne voidaan helpommin kompositoida projektiin ja säätää tilanteeseen sopivaksi. Näitä voivat ovat esimerkiksi kameratekniset tehosteet, kuten syväterävyys ja liike-epäterävyys, linssiheijastukset, ja partikkeli-tehosteet, kuten räjähdykset ja savu. (Birn 2006; Alexandrov 2014.)





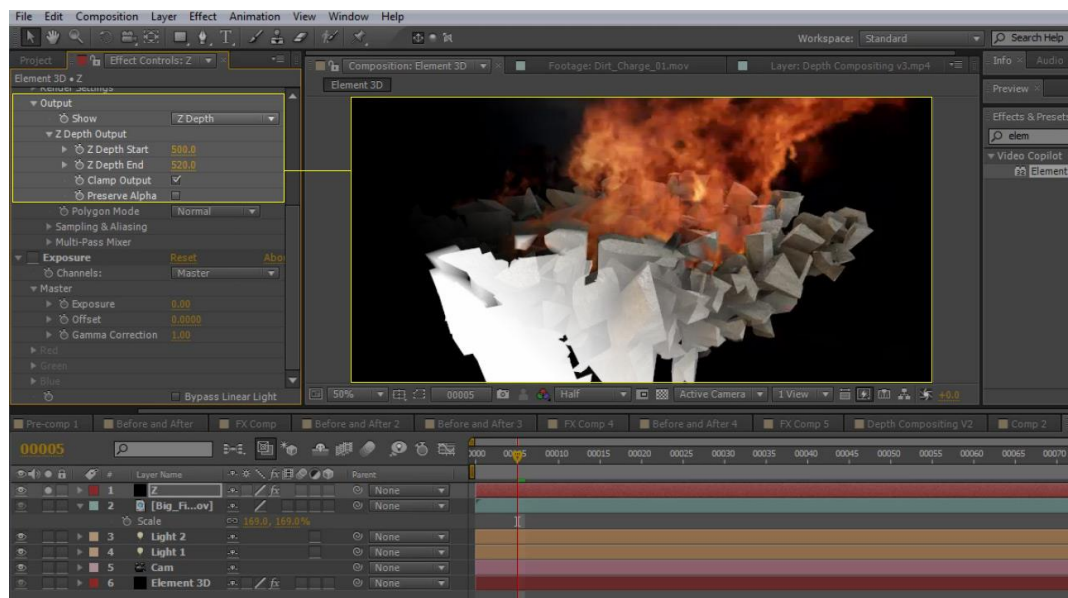
KUVA 7. Z-depth-passilla (ylempi) tehty syväterävyys-efekti (alempi), jossa Z-depth-kuvaa on sumennettu mustan värin intensiteetin mukaan (Alexandrov 2014)

#### 4.2 Depth-kompositointi

Depth-kompositointitekniikka hyödyntää Z-depth-render passia, jonka avulla voidaan 2D-layereita kompositoida 3D-ohelmasta tehtyihin 2D-renderöinteihin tai näennäisesti 3D-elementtien sisään. Ilman Z-depth-passia 2D-elementti voitaisiin ainoastaan kompositoida kappaleen eteen tai taakse. Z-depth-passilla voidaan luoda illuusio 2D-elementin sijainnista kappaleen sisällä, sillä elementtiä saadaan häivytettyä kappaleeseen Z-depth-passin sisältämän harmaan sävymuutoksen mu-

kaan, vaikka elementti todellisuudessa sijaitsee renderöintihierarkiassa päällimmäisenä. (Videocopilot 2012.) Tekniikka toimii hyvin etenkin layer-pohjaisissa kompositointiohjelmissa, jotka eivät tue deep-kompositointiin tarvittavia deep-pikseleitä, jolla saataisiin luotua huomattavasti realistisempaa jälkeä muun muassa valon ja varjojen volumetrisyyden suhteen.

Kuvassa 8 kompositoidaan Element 3D:n generoimaa Z-depth composite passia hyödyntäen 2D-layerilla olevaa tuli elementtiä 3D-sirpaleiden joukkoon. Liitännäinen tarjoaa mahdollisuuden käyttäjälle säätää reaaliajassa Z-depthin aloitus- ja lopetusarvoja. Ne määrittävän puhtaan mustan ja valkoisen alueen sijainnin 3D-mallin pinnalla, joiden väliin muodostuva liukuväri määrittää, kuinka tuli-layer leikkaantuu 3D-mallin kanssa. (Videocopilot 2012.)



KUVA 8. Kompositointia Z-depth-render passin avulla After Effectsin Element 3D-liitännäisen avulla (Videocopilot 2015)

Z-depth-render pass on yhden värikanavan kuvatiedosto, minkä harmaan sävyt rajoittuvat normaalissa 8-bittisessä kuvassa 256 sävyyn. On yleistä, että 8-bittisen kuvan sijasta z-depth-pass renderöidään vähintään 16-bittiseksi, jolloin saadaan nostettua sävyjen määrää 65 536:een. Tämä johtaa entistä tarkempaan ja tasaisempaan syvyystiedon hyödyntämiseen. 8-bittisessä liukuväriässä esiintyy toisinaan niin sanottua bandingia eli pykällystä, joka aiheuttaa tarkkuusvirheitä Z-

depth-passia kompositoitaessa. Luonnollisesti 32-bittisellä tarkkuus on vieläkin parempi, mutta myös tiedostokoko kasvaa bittimäärän kasvaessa. (Alvarez 2014.)

#### 4.3 Deep-kompositointi

*”Hyöty on niin suuri Weta Digital studiolla, että deep-data on perustapa, jolla teemme aivan kaiken – en tiedä kuinka deep-datan voisi jättää ulkopuolelle”* (Hillman 2014).

Deep-kompositointi on toisenlainen tapa renderöintiin ja visuaalisten elementtien kanssa työskentelyyn. Sen sijaan, että päällekkäin ladottaisiin useita litteitä 2D-renderöintejä 3D-kuvista, deep-kompositointi tarjoaa ylimääräisen informaatio-kanavan, joka ei määritä yksittäistä Z-akselin arvoa, vaan sarjan niitä. Esimerkiksi sumun tiheys saadaan näin vaihtelevaan annettun pikseliarvon edessä ja takana. (Seymour 2014.)

Perinteisesti kompositoitaessa sumu renderöitäisiin 2D-elementtinä Z-depth-passin kanssa, jolloin sumua saataisiin häivytettyä tarpeen mukaan. Kuitenkin toiseen elementtiin yhdistettäessä, elementti on hierarkisesti joko pilven edessä tai takana, ei ole mahdollista sijoittaa elementtiä itse pilveen. Tämän voi kuitenkin kiertää renderöimällä taka- ja etupuoliskon 3D-pilvestä ja sijoittamalla elementin niiden väliin. Jos kuitenkin elementin sijaintia haluttaisiin muuttaa jälkeinpäin pilven sisällä, pitäisi sumu-elementin puoliskot renderöidä aina uudelleen. (Seymour 2014.)

Deep-kompositoinnilla ei kuitenkaan olla lukittauduttu edellä mainitun tavoin yhteen pikseliarvoon, vaan saadaan sarja numeroita, jotka ilmaisevat sumun intensiteettiä syvyys-suunnassa, eli kuinka paljon ja kuinka tiheästi pilvi on elementin edessä. Toisin sanoen elementti voidaan suoraan kompositoida pilven sisälle. Näin säästytään ylimääräisten alpha-kanavia sisältävien render passien käytöltä sekä muutoksien jälkeiseltä uudelleen renderöinniltä. Haittapuolena on kuitenkin se, että tarvitaan enemmän pikseli-informaatioita, joten yksittäisen framen eli kuvakehyksen koko saattaa nousta kompleksissa kuvassa jopa 800 megatavuun. Toisinaan kuitenkin perinteisiä z-depth-kuvia ja -matteja tarvitaan stereo-konversioon tai värimäärittelyyn, joten on siis mahdollista käyttää deep-dataa ja myöhemmin muuttaa informaatio z-depth-kuvaksi lopullista kuvaa varten, jolloin voidaan kui-

tenkin säästyä kompositointivaiheen uudelleen renderöinniltä, mutta myös työskennellä kevyempien tiedostojen kanssa. Tästä on etenkin hyötyä, jos työskentely tapahtuu servereillä ja tiedoston siirto on hidasta. (Seymour 2014.)

Kun kaikki elementit renderöidään omiksi deep-kuviksi, voidaan kuvat yhdistää äärimmäisen tarkasti yhtenäiseksi kokonaisuudeksi koko kohtauksessa, vaikka elementit olisivat lomittain z-akselilla. Tämä lisää joustavuutta työskentelyyn, sillä ainoastaan ne elementit, jotka ovat muuttuneet edellisestä renderöinnistä, tarvitsee uudelleen renderöidä. Kuva voidaan myös jakaa elementteihin, ilman että pitäisi huolehtia siitä, kuinka ne yhdistyisivät kompositoinnissa. (Seymour 2014.) Esimerkiksi kuvan 9 vasemmassa yläkulmassa on kohtauksen täysi CGI-pohjakuva ja sen vieressä oikealla deep-dataa sisällä pitävät 3D sumu- ja tomu-elementit. Nämä elementit saadaan suoraan yhdistettyä CGI-pohjaan realistisesti, jolloin hevoset paljastuvat sumusta sen tiheyden perusteella niiden juostessa kameraa kohti. (Failes 2012.) Perinteisessä kompositoinnissa pitäisi kiinnittää huomiota syvyysvääristymiin sekä maskeja käytettäessä elementtien reunoihin helposti ilmestyviin artefakteihin. Volumetrinen deep-kuvien pikselit säilyttävät palloittain määritellyn optisen tiheyden vakion ja etäisyyden aiheuttaman värimuutoksen. Toisin sanoen syvyys suuntainen etäisyys vaikuttaa kuvan väriin, sama kuva näyttää vaaleammalta kaukana kamerasta. (Seymour 2014.)

Deep-dataa voidaan hyödyntää myös entistä luovemmissa valaistusratkaisuissa. Elokuvassa Abraham Lincoln: Vampire Hunter on hyödynnetty deep-dataa kompositoinnissa muun muassa kohtauksessa, jossa Benjamin Walkerin ja Marton Csokasin esittämät Abe ja Black Barts taistelevat kolmen tuhannen juoksevan hevosen keskellä. Kohtaus olisi ollut hevosten ja taiteellisesti kuvatun pölyn takia mahdoton kuvata oikeasti, joten se tehtiin täytenä CGI-kohtauksena, jopa näyttelijät korvattiin osassa kuvista digitaalisilla versioina itsestään, kompositoinnin helpottamiseksi. Kuvassa on niin suunnattomasti tomua, että jos esimerkiksi yhtä animoitua hevosta haluttiin siirtää tai kokonaan korvata toisella animaatioyksiköllä, täytyisi tomuryppäät ja niihin heijastuvat varjot renderöidä kokonaan uudestaan. Sama pätee myös valaistuksen muuttamiseen. Deep compositing -tekniikkaa käyttämällä pystyttiin renderöimään volumetrisyystiedot deep-formaattiin ilman varjoja ja myöhemmin valaisijat pystyivät valaisemaan kohtauksen Nuke-kompositointiohjelmassa ja siten luomaan varjot. (Failes 2012.)



KUVA 9. Deep-pikseleitä sisältävän sumun kompositointia (Failes 2012)



KUVA 10. Lopullinen, kompositoitu kuva (Failes 2012)

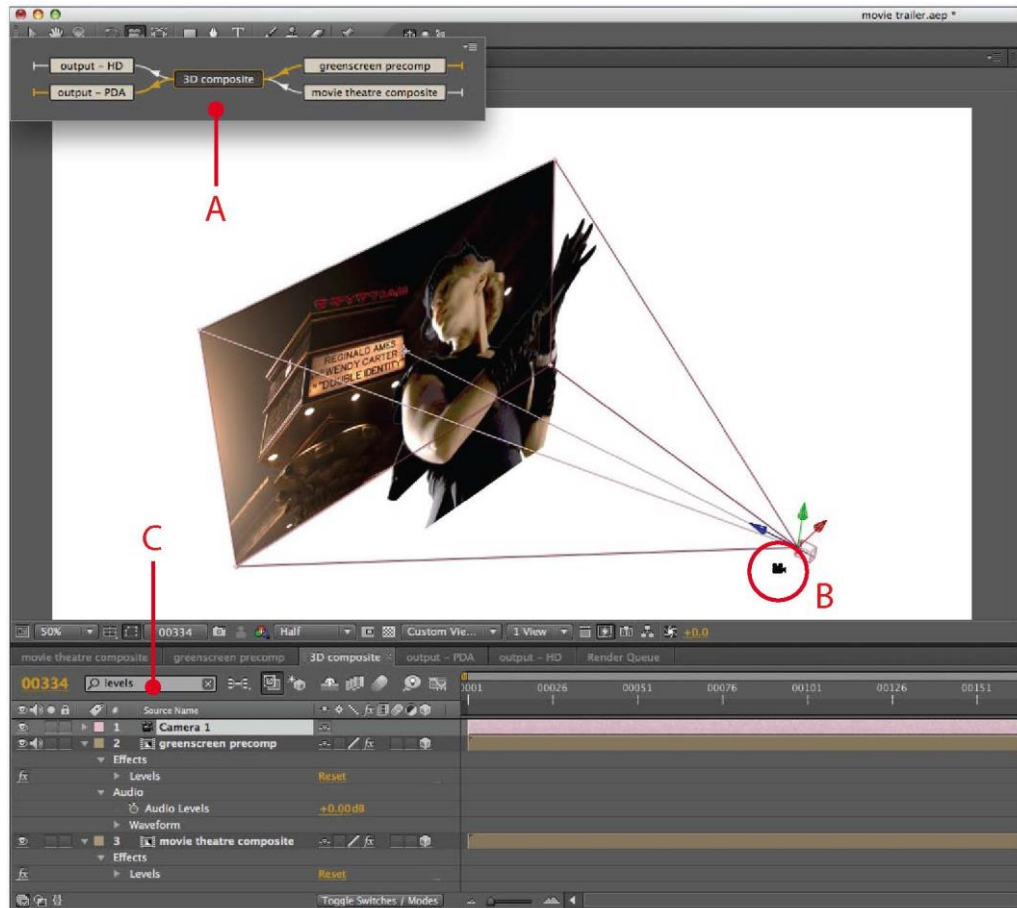
Isoista elokuvastudioista muun muassa Industrial Light & Magic, Weta Digital ja Pixar ovat hyödyntäneet OpenEXR-tiedostomuotoa elokuvissaan siitä lähtien kun James Cameronin Avatar (2009) vakiinnutti deep-kompositointityötavan.

OpenEXR on Industrial Light & Magic -yhtiön kehittämä HDR (High Dynamic Range) kuvatiedostoformaatti, joka alun perin kehiteltiin vastaamaan alan tarvetta isommille värimäärille. Perinteiset 8- ja 10-bittiset kuvat eivät tallenna täyttä dynamiikkaa HDR-laitteilla kuvatusta materiaalista, mutta toisaalta siihen kykenevä

32-bittinen Tiff-tiedosto vie paljon tilaa. OpenEXR-tiedostomuoto tukee normaalia 8- ja 10-bittisiä tarkempia, 16- ja 32-bittisiä floating-point- ja integer-pikseleitä. Myöhemmin tiedostomuotoa on jatkokehitetty tukemaan deep-kompositointia. Yksi OpenEXR-tiedosto voi pitää sisällään useampia itsenäisiä kuvia, mutta niiden pitää kuitenkin olla tietyllä tavalla yhteneviä keskenään, joten tiedostomuoto sopii erinomaisesti render passien kanssa käytettäväksi, kun yhden elementin kaikki render passit saadaan säilöttyä yhteen tiedostoon. (Openexr 2014.)

#### 4.4 3D-kompositointi After Effectsissä

After Effects -ohjelman 3D-työkalut ovat rajoittuneemmat node-pohjaisiin kompositointiohjelmiin verrattuna. After Effects ei varsinaisesti tue suoraan 3D-malleja, vaan muuttaa ne aina litteiksi 2D-kuviksi. (Adobe 2015b.) On mahdollista kuitenkin luoda illuusio 3-ulotteisuudesta käyttämällä 2D-layereitä 3D-tilassa, jolloin niille voidaan määrittää sijainti Z-akselilla, kuvan 11 mukaisesti, sekä orientoida x- ja y-akseleiden suhteen. Kuvassa 11 A-kirjain näyttää flowchart-näkymän ja B kameran, jonka kautta lopullinen kompositio nähdään. C-kirjain osoittaa listan kaikista komposition layereistä. (Mickey 2009.) Toisena vaihtoehtona voidaan renderöidä 3D-elementit videona tai kuvasarjana, joko ilman tai render passeja käyttäen, ja tuoda ne sellaisenaan After Effectsiin, niitä ei kuitenkaan silloin enää voi yhtä monipuolisesti animoida tai muokata ilman uudelleen renderöintiä. (School of motion 2014.) Kuitenkin tietyt efektit, kuten valot ja partikkeli-tehosteet, toimivat After Effectsissä täysin 3-ulotteisesti ja ne voivat muun muassa luoda varjoja 3D-tilassa olevien 2D-layereiden pinnoille.



KUVA 11. 3D-layereiden kompositointia Adobe After Effectissä (Mickey 2009)

Liitännäisten avulla 3D-mallinnetut elementit voidaan tuoda 3D-ohjelmasta suoraan After Effectsiin, ilman renderöintiä. VideoCopilotin Element 3D -pluginin avulla on mahdollista tuoda monen muun formaatin ohella obj.-tiedostoja After Effectsiin ja animoida, valaista tai teksturoida niitä siellä 3D-tilassa. Element 3D toimii kaikkien 3D-ohjelmien kanssa, joista voi viedä ulos liitännäisen tukemia tiedostomuotoja tai -sarjoja. (Videocopilot 2015.) After Effectsiin on myös CC-versioissa tuotu sisäänrakennettu Cinema 4D:n vastine Element 3D:lle, mutta se ei ole ainakaan kirjoitushetkellä yhtä pitkälle kehitetty. (Adobe 2015a.)

#### 4.4.1 Cinema 4D Lite

Cinema 4D Liten Live 3D Pipeline -toiminnolla käyttäjä voi suoraan After Effectsissä avata, editoida ja muokata Cinema 4D -ohjelmalla tehtyjä 3D-mallinnuksia ja niiden compositing passeja, eli liitännäisen reaaliaikaisesti render-

öityjä vastineita render passeille. Liitännäinen liitetään yhdelle layerille, ja sen asetuksista käyttäjä pystyy valitsemaan kaikkien passien yhdistelmän lisäksi yhden näytettävän passin. Useaa eri layeriä, joille on määritelty omat passinsa, voidaan kompositoida toisiinsa samalla tavoin kuin tavallisia render passeja kompositoitaisiin. Liitännäinen tukee Cinema 4D:n oman c4d-formaatin lisäksi fbx-, obj-, alembic- ja collada-tiedostomuotoja ja siihen tuodut 3D-mallit reagoivat After Effectsin kameraan ja valoihin. (Maxon 2015.)

#### 4.4.2 Element 3D

Videocopilotin alun perin vuonna 2012 julkaisema Element 3D oli After Effectsin ensimmäinen reaaliaikaiseen 3D-mallien animointia varten tehty liitännäinen. Liitännäinen on monin tavoin vastaava Cinema 4D Liten kanssa, mutta se on kolmannen osapuolen tuottama eikä sisälly ”tehdas”-versioon After Effectsistä. Liitännäinen tukee obj-, fbx- ja c4d-tiedostojen lisäksi myös jpeg- ja png-kuvasarjoja ja vastaavia animaationsarjoja, obj-sequenceja, sekä hdr- ja openexr-tekstuureja. (Videocopilot 2015.)

Element 3D:n composite passeja voidaan kompositoida samoin kuin Cinema 4D Liten passeja, mutta liitännäinen tarjoaa myös vaihtoehdon tälle, sillä liitännäisessä on sisään rakennettu mikseri passeille, mikä mahdollistaa näiden kompositoinnin keskenään ilman, että liitännäistä kopioitaisiin useille layereille, joista kaikilla olisi yksi composite pass näkyvissä. Liitännäinen tukee myös ray-trace-renderöintiä, minkä vuoksi se pystyy reaaliajassa laskemaan kappaleiden keskinäiset heijastukset ja varjot kappaleiden pinnoille ja tukee myös omien sisäänrakennettujen valaistumahdollisuuksien ja HDRI-valaistuksen lisäksi kaikkia After Effectsin valotyyppejä. HDRI-valaistus tarkoittaa materiaalapohjaista valaistusta, jolloin kappale valaistuu sillä määritetyn environment-kuvan intensiteetin vaihtelun mukaan. Element 3D ei ole täysin sidoksissa After Effectsin kamera-asetuksiin, vaan se antaa käyttäjälle vaihtoehtoisesti mahdollisuuden yliajane ja määrittää vain Element 3D-layeriä koskevat syväterävyys- ja liike-epäterävyys -asetukset. (Videocopilot 2015.)





KUVA 12. Videocopilotin Element 3D v2 -liitännäisen käyttöliittymä (Young 2014)

#### 4.5 Avainnus

Avainnus (englanniksi keying) on yksi yleisimpiä kompositointitekniikoita. Sillä yhdistetään kaksi tai useampia päällekkäin ladottua kuvaa yhdeksi kuvaksi. Avainnuksessa päällimmäinen kuva, useimmiten live action -kuva, on kuvattu joko sinistä tai vihreää croma-kangasta vasten, kuten kuvassa 13 vasemmalla on tehty. Näin mahdollisimman yksiväriseksi valaistu tausta voidaan kompositointi-ohjelmassa tehdä joko osittain tai kokonaan läpinäkyväksi eli avaintaa. Sinistä tai vihreää taustaa käytetään useimmiten sen takia, että ne ovat kauimpana ihmisen ihon väristä. Kuvattavan kohteen on käytettävä muun värisiä vaatteita kuin taustavärin sävyjä, sillä niitä lähellä olevat sävyt avaintuvat helposti pois taustavärin mukana jättäen kuvattavaan kohteeseen läpinäkyviä aukkoja. (Wikipedia 2015a.) Lopulta kuvattavan kohteen taakse voidaan luoda täysin uusi ympäristö (kuva 13 oikealla).



KUVA 13. Avainnus-vaiheen lähtötilanne (vasemmalla) ja valmis kuva (oikealla) (Rastogi 2006)

Yksi suosituimmista avainnus-sovelluksista on monen kompositointiohjelman kanssa yhteensopiva Keylight-liitännäinen. Tämä The Foundryn kehittämä, alun perin Computer Film Companyltä, nykyiseltä Framestonelta ostettu työkalu tulee muun muassa After Effectsissä ja Nukessa sisäänrakennettuna. Työkalu on voittanut monia palkintoja, ja sitä on käytetty sadoissa menestyneissä elokuvissa, esimerkiksi Sherlock Holmesissa, 2012:ssa ja Avatarissa. Keylight on helppo käyttää, sillä se käsittelee melko hyvin vaikeasti avainnettavat yksityiskohdat, kuten heijastukset, hiukset ja osittain läpinäkyvät pinnat. Työkalun Spill Supression -ominaisuuden ansiosta poistettavan värin valitseminen on usein kaikki, mitä kompositoijan tarvitsee tehdä. Ohjelma tarjoaa kuitenkin mahdollisuuden hienosäätöön vaikeissa tapauksissa monipuolisten matten manipulointi mahdollisuuksien, värikorjaus sekä reunakorjaus työkalujen ja -ominaisuuksien muodossa. (The Foundry 2015.)

#### 4.6 Kamera

Kompositoinnin päätarkoitus ei ole luoda täysin realistista jälkeä, vaan jäljitellä kameran linssin läpi näkyvää maailmaa, joten kameran ymmärtäminen on olennaista kompositoinnissa. Kompositointi- ja 3D-ohjelmilla voidaankin uudelleen luoda ja muuttaa kuvauspäätöksiä vielä kenttätyön jälkeen. Vaikka kuva olisikin

sellaisenaan täydellinen, se toimii kuitenkin kokonaisuudessa vasta sitten kun elokavalliset seikat ovat kunnossa. Näitä voivat olla muun muassa kuva-ala, syväterävyys, perspektiivi ja kameranliike. Nämä kaikki vaikuttavat siihen, kuinka katsoja sisäistää tarinan. Täysin stabiili video voi antaa katsojalle hyvinkin erilaisen kokemuksen vaikkapa käsivaralta kuvattuun videoon verrattuna. (Christiansen 2011, 268.)

Jos jälkituotannossa on tarkoitus yhdistää aitoa live action -kamerakuvaa ja digitaalisesti tuotettua kuvaa, on tärkeää kuvatessa ottaa ylös kameran asetukset, mitä on käytetty missäkin kuvassa. Näistä tiedoista on apua, kun lasketaan syväterävyyttä, liike-epäterävyyttä tai jäljitellään kameran liikettä. Ylöskirjattavia asetuksia voisi olla vaikkapa linssintiedot, polttoväli, suljinaika (shutter speed) ja kuva-ala (angle of view). Myöskin mahdollisen cameratracking-toimenpiteen helpottamiseksi on hyvä käyttää selkeitä track-merkkejä, mikä helpottaa kameran liikkeen analysointia, jotta se voidaan simuloida uudelleen kompositointiohjelmassa. (Wright 2006, 252; Christiansen 2011, 268.)

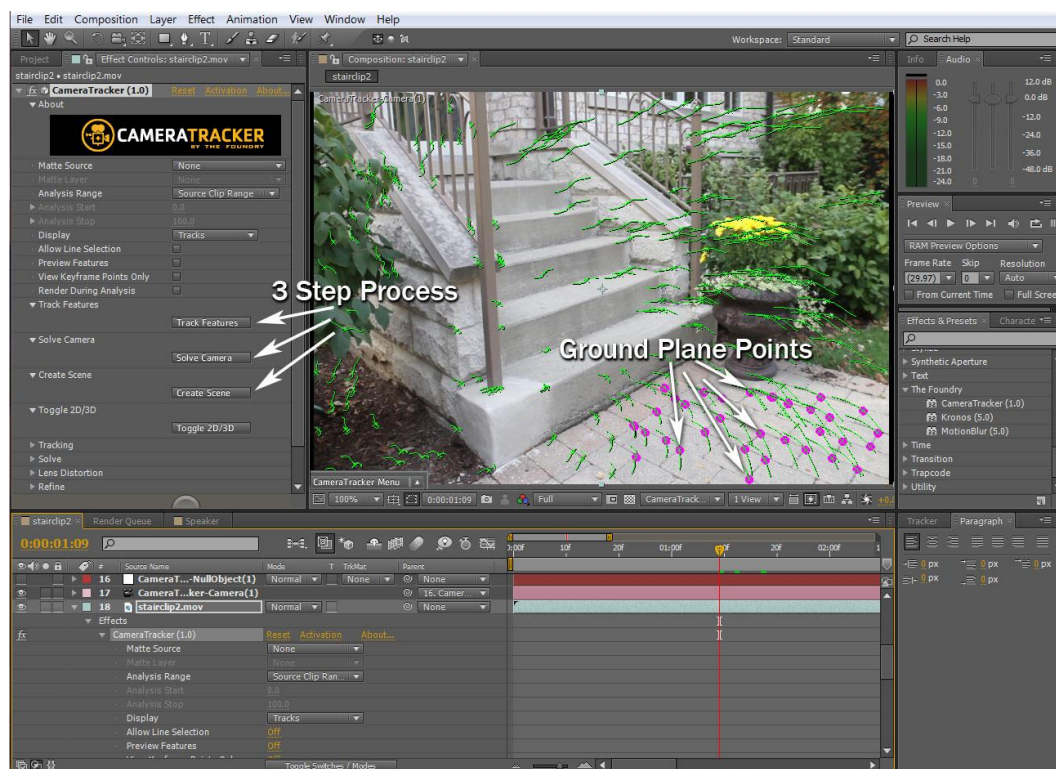
#### 4.6.1 3D-cameratracking

Liikkuvalla kameralla kuvattuun videokuvaan kompositoitaessa tarvitaan tarkka informaatio kameranliikkeestä suhteessa videokuvaan, jotta elementit saadaan asetettua tiettyyn kohtaan videolla ja pitämään sijaitinsa videon alusta loppuun ilman ajelehtimista. Tämä informaatio voidaan tulkita videokuvasta joko manuaalisesti tai käyttämällä cameratrack-työkaluja, joista joskus käytetään myös motion track -nimitystä. (Wright 2006, 242.) Cameratracking on kuitenkin melkein mahdotonta suorittaa täysin manuaalisesti, sillä silmä erottaa herkästi liikkeen omituisuudet. Apuna on hyvä käyttää cameratrackingiin tarkoitettuja itsenäisiä ohjelmia tai kompositointi-ohjelmien liitännäisiä. Kaikki cameratrack-ohjelmat käsittelevät ja analysoivat liikettä pikselitasolla eivätkä ota kokonaisuutta huomioon. Vaikka ohjelma näyttää toimivan automaattisesti, voi käyttäjä yleensä vaikuttaa monin tavoin trackingin tarkkuuteen. (Christiansen 2011, 263.)

3D-tracking toimii eri tavalla tavalliseen 2D-trackingiin verrattuna, sillä toimenpiteen alussa ei tarvitse valita mitään tiettyä pistettä, josta ohjelma lähtisi tulkitsemaan kuvan liikevaihtelua. Sen sijaan ohjelma luo joukon (jonka määrän ohjel-

masta riippuen käyttäjä pystyy määrittämään) pisteitä, jotka syntyvät ja katoavat ohjelman analysoidessa videota. Analysointivaiheen jälkeen ohjelma ”ratkaisee” kameraliikkeen pisteiden liikkeen keskiarvon perusteella. 2D-jäljitely data sisältää position- ja rotation-parametrit, mutta 3D-data sisältää näiden lisäksi myös ”zoom”- tai ohjelmasta riippuen ”scale”-parametrin, mikä aiheuttaakin helposti epävakaan kameraliikkeen. Monet 3D-tracking-sovelluksista antavatkin käyttäjän määrittää digitaaliselle kameralle prime linssin, joka ei sisällä zoom-arvoa. (Christiansen 2011, 264.)

The Foundryn Cameratracker-liitännäisessä on kolme vaihetta 3D-trakingin luomiseksi. Ensin Track Features -vaihe pyrkii analysoimaan videon track-merkkien avulla, joita ohjelma luo automaattisesti kohtiin, joissa on suuret kontrastivaihtelut. Seuraavassa, Solve Camera-vaiheessa liitännäinen laskee trakingin tarkkuuden ja tässä vaiheessa käyttäjä pystyy vielä hylkäämään huonoja, tumman punaisella merkittyjä pisteitä. Viimeisessä Create Scene -vaiheessa Cameratracker luo After Effectsissä kameran ja null-objektin, johon se tallentaa kaikki kameran liiketiedot. (O’Neil 2010.)



KUVA 14. The Foundryn Cameratracker-liitännäinen (O’Neil 2010)

Adobe After Effects pystyy hyödyntämään esimerkiksi Pixel Farmin PF Track- ja SynthEyes-ohjelmissa laskettua kameradataa, kun se tuodaan After Effectsiin Autodeskin Maya-ohjelman ma-tiedostona. Ohjelma pystyy myös tunnistamaan kameran liikettä sen sisäänrakennettujen niin 2D- kuin 3D -kameratracking pluginien eli liitännäisten tai ulkoisten liitännäisten avulla. Afterin kanssa yhteensopivia ulkoisia liitännäisiä on muun muassa Mocha-AE:n tai Foundryn Cameratracker. Myös täysin digitaalisen kameran, jonka liike ei perustu motiontrackiin, voi tuoda After Effectsiin 3D-mallinnusohjelmista, mutta kamera siirtyy ”baked”-muodossa, jolloin sitä ei enää After Effectsin puolella pysty liikuttamaan. (Christiansen 2011, 263.)

#### 4.6.2 Syväterävyys

Syväterävyydellä (depth of field) saadaan ohjattua katsojan huomiopistettä, kun kamera tarkennetaan olelliseen kohteeseen kuvassa, jolloin kohteen etu- ja takala näkyvät epätarkkoina. Epätarkkuuteen vaikuttaa objektiivin aukon koko eli f-arvo. Mitä suurempi on aukon koko, eli mitä pienempi f-arvo on, sitä pienempänä syväterävyysarvo näkyy. Pienellä syväterävyysalueella saadaan nostettua jokin asia esiin kuvassa, kun tausta näkyy pehmemmennettynä. Vastaavasti pienellä aukolla saadaan suuri syväterävyysalue. (Christiansen 2011, 293.)

Syväterävyys-efekti voidaan luoda myös After Effectsissä hyödyntämällä virtuaalista kameraa 3D-tilassa, jolloin kamera tunnistaa layereiden etäisyydet toisistaan z-akselilla ja pystyy laskemaan syväterävyyden tiedon perusteella. Käyttäjä pystyy vaikuttamaan syväterävyysalueeseen syöttämällä oikeasta kamerasta tuttuja parametreja, esimerkiksi aukon ja linssin tiedot virtuaaliseen vastineeseen. (Christiansen 2011, 294.)

Syväterävyys-efekti voidaan myös luoda kompositointiohjelmissa virtuaalisten kameroiden lisäksi hyödyntämällä 3D-mallinnusohjelmista renderöityä Z-depth-passia tai depth-mappia. Tällöin kuvaa summennetaan ainoastaan passin osoittaman alueen kohdalta. Jälkeenpäin pystytään vielä viimeistelemään tarkennuksen ulkopuolelle jääneiden kirkkaiden kohtien insiteettiä ja niiden ”linssiin” heijastamia muotoja. (Christiansen 2011, 297.) Z-depth-passin käytöstä on hyötyä, jos

kompositio sisältää 2D-layereita tai kuvia, joissa ei itsessään ole syvyysinformaatiota z-akselin suhteen, jota kamera pystyisi tulkitsemaan.

#### 4.6.3 Liike-epäterävyys

Liike-epäterävyys eli motionblur on tehokas keino tuoda esille kappaleen liikettä animaatioissa ja korostaa sen nopeutta, mutta myös ”pehmentää” liikkeen liikeratoja, kun tehosteen avulla liike ei enää näy niin terävänä. Kompositoitaessa CGI-kuvaa live action -kuvaan on otettava huomioon sen valmiiksi sisältämä liike-epäterävyys, jotta lisätty CGI-kuva ei erottuisi liian selvästi lopullisesta kuvasta. (Flyktman 2015.)

Liike-epäterävyys muodostuu, kun kamerassa on pitkä valotusaika ja kuvattava kohde liikkuu etsimen alueella valotuksen aikana. Mitä enemmän kohde liikkuu, sitä epätarkempana se kuvassa näkyy. Valotusaika vaikuttaa kohteen tarkkuuteen, pitkällä valotusajalla saadaan myös epätarkkaa kuvaa. (Flyktman 2015.)

Syväterävyyden tavoin myös liike-epäterävyys voidaan lasketuttaa render passin avulla. Liike-epäterävyys vaatii velocity-passin, joka toimii ja kompositoidaan käytännössä samoin kuin z-depth pass, mutta render passissa valkoinen väri ilmoittaa syvyyden sijasta liike-epäterävyyden vahvuuden kuvassa. (Alexandrov 2014.)

#### 4.6.4 Linssiheijastukset

Oikealla kameralla kuvatessa linssiheijastus syntyy, kun valo osuu kamerasinssiin ja heijastuu siellä linssin eri osien välillä edestakaisin, kunnes lopulta osuu filmiin tai digitaaliseen sensoriin. Toisinaan myös todella kirkkaat valot voivat luoda linssiheijastuksen, kuten esimerkiksi aurinko ja keinovalot. Kirkkaan valonlähteen ei aina välttämättä tarvitse edes olla kuvassa synnyttääkseen linssiheijastuksen, sillä joskus pelkkä heijastus linssin reunaan riittää. Linssiheijastuksen muoto ja väri vaihtelevat käytetyn linssin ja valon lähteen vaikutuksesta. (Cambridge in colour 2015.)

Digitaalisessa kompositoinnissa linssiheijastuksilla pyritään häivyttämään rajaa digitaalisen ja aidon tehosteen välillä, sillä ilmiö syntyy luonnostaan ainoastaan oikealla kameralla kuvatessa. Sillä pyritään toisinaan tuomaan kuvaan myös taiteellista luonnetta. (Cambridge in colour 2015.)



KUVA 15. Linssiheijastus Plot Device -lyhytelokuvassa (RedGiant 2010)

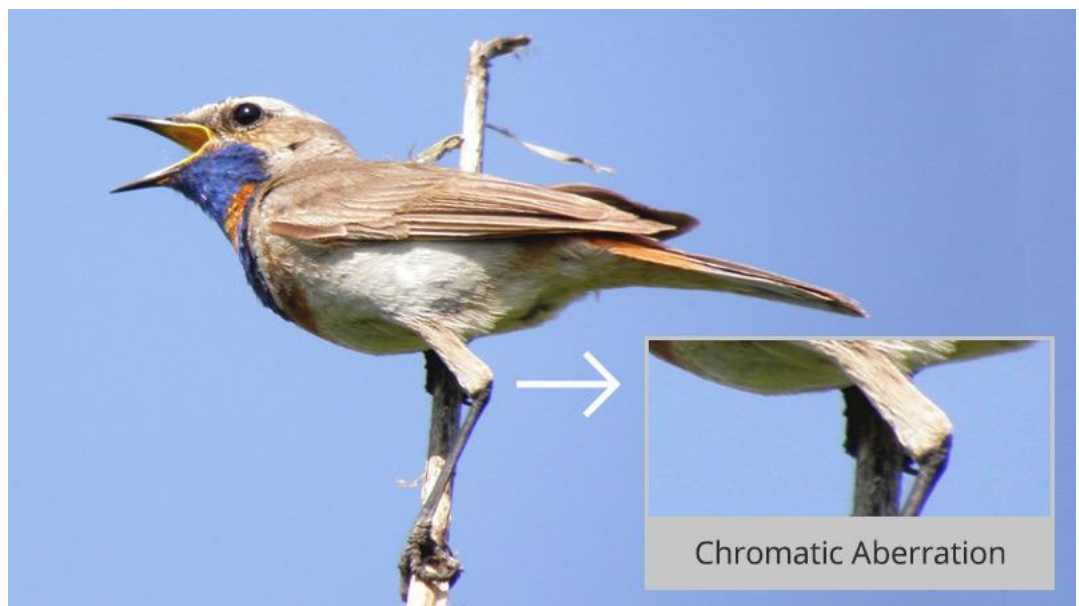
#### 4.6.5 Kohina

Kameralla kuvatussa materiaalissa on aina pientä kohinaa, vaikka kamera-tekniikan kehittyessä sen määrä ja näkyvyys on huomattavasti vähentynyt. Kohina voi lisätä kuvaan pientä eloa ja luoda tunnelmaa ja sillä voidaan myös häivyttää liiallista tarkkuutta elementtien reunoilta ja nitoa elementtejä paremmin yhteen. Live action -kuvaa kompositoidessa CGI-elementtien tai still-kuvien kanssa kohina on hyvä ottaa huomioon, sillä CGI-elementeissä tai still-kuvissa ei ole liikkuvia, kohisevia, pikseleitä, jolloin niihin tulisi lisätä sitä, jotta kuvan kaikki elementit saadaan sopimaan yhteen ja näyttämään siltä, että ne on samalla kameralla kuvattu. Kohinan ei kuitenkaan pitäisi näkyä pelkästään elementeissä, vaan olla yhtenäisenä efektinä koko kuvassa. Esimerkiksi epätarkoissa elementeissä pitäisi olla yhtä paljon kohinaa kuin muussakin kuvassa. (Christiansen 2011, 298.)



#### 4.6.6 Kromaattinen aberraatio

Kromaattinen aberraatio johtuu valon taittumisesta linssissä. Spektrin pienemmät aallonpituudet taittuvat enemmän linssissä kuin suuremmat aallonpituudet. Ilmiö aiheuttaa sen, että kuvattavasta kohteesta muodostuu linssin taakse värikkäitä ääriviivoja hieman eri paikkaan kuin todellinen kohde, jolloin kohteen reuna-  
viivan lähetytyillä näkyy väriaihetelua. Taittumiseen vaikuttaa valon aallonpituus sekä linssin taitekerroin. Ilmiöstä halutaan usein eroon, jotta saataisiin mahdollisimman tarkkaa kuvaa, ja sitä voidaan vähentää käyttämällä akromaattisia objektiiveja kamerassa. Kromaattisella aberraatiolla voidaan kuitenkin linssiheijastuksien tavoin lisätä realismia CGI-kuviin, sillä usein pienet yksityiskohtaiset “kuvavirheet” lisäävät kuvan uskottavuutta. Ilmiö voi toimia myöskin taiteellisenä tehokeinona, aivan kuten linssiheijastuksetkin. (Wikipedia 2013; Kotecky 2013.)



KUVA 16. Kromaattisen aberration aiheuttama värivirhe (Mayden 2015)

#### 4.7 Värimäärittely

Värimäärittelyllä yleensä pyritään realistiseen värimaailmaan, usein liioitellun dramaattisesti. Väritys ohjaa ja tukee tarinankerrontaa, jolloin esimerkiksi kylmillä värisävyillä voidaan korostaa jännitystä tai eristäytyneisyyttä tai lämpöisillä väreillä turvallisuudentuntua. Väreillä voi olla elokuvassa myös joku symbolinen merkitys. (Hullfish 2012, 323.)



Värimäärittely on yksi tärkeimmistä kompositoinnin osa-alueista, sillä jos live action -kuva ja esimerkiksi CGI-elementtien väriskaala eroaa toisistaan, illuusio yhtenäisestä kuvasta häviää heti ja kuva näyttää virheelliseltä. Siksi on tärkeä värimäärittellä komposition elementit tarkasti samaan ympäristöön sopiviksi, mutta myös kohtauksen peräkkäisten kuvien pitäisi olla värillisesti yhteneviä, jotta saadaan luotua illuusio kuvien jatkuvuudesta. Poikkeuksena on tapahtumapaikan vaihto, jonka yhteydessä voidaan hieman poiketa edeltävän kohtauksen värimaailmasta. Kaikkien kohtauksien yleinen väri-ilme tulisi kuitenkin olla jossain määrin yhtenevä, jotta projektilla on yhtenäinen värillinen suuntaus. Hyvin tehdyllä värimäärittelyllä saadaan ohjattua katsojan huomio oikeaan paikkaan ja häivytettyä kuvan ja tarinankerronnan keinotekoisuutta. (Christiansen 2011, 135.)

Vingette-on eräs kameran objektiivin aiheuttama ilmiö, mikä näkyy kuvassa 17 tummennettuina reunoina. Ilmiö tarkoituksella lisätään usein värimäärittelyvaiheessa, sillä efektillä saadaan ohjattua katsojan silmää mahdollisista häiriötekijöistä kuvan reuna-alueilla. Vingetteä voi ilmestyä luonnollisesti kaikkiin linssihin, mutta sitä voidaan häivyttää tai vahvistaa käyttämällä filttäreitä tai linssin suojuksia. (Mansurov 2013.)



KUVA 17. Kuvaan jälkikäsitellyssä lisätty vingette näkyy tummennettuina reunoina kuvassa (Mansurov 2013)

Kompositoinnissa käytetään yleensä RGB-väriavaruutta, kuten yleensäkin tietokonegrafiikassa, poislukien vektorigrafiikka ja painotuotteet, joissa suositaan pääasiassa CMYK-väriavaruudessa tehtyä materiaalia. RGB-väriavaruus on niin sanotusti additiivinen väriavaruus, sillä siinä luodaan värejä sekoittamalla keskenään punaista, vihreää ja sinistä valoa. RGB-värit koostuvat useimmiten käytetyssä 24-bittisessä järjestelmässä kolmesta 8-bittisestä värikanavasta; näin ollen punaisella, vihreällä ja sinisellä kanavalla kullakin on käytössä 256 kirkkaustasoa. Näitä yhdistelemällä voidaan luoda yhteensä  $16\,777\,216$  väriä. Järjestelmässä musta väri saadaan antamalla jokaiselle kanavalle arvo 0 ja vastaavasti puhdas valkoinen väri saadaan antamalla jokaiselle kanavalle maksimiarvo eli 24-bittisessä järjestelmässä 256. Kuvia on mahdollista tehdä myös 48-bittisessä väriavaruudessa, missä on huomattavasti laajemmat mahdollisuudet värien sekoittamiseen. RGB-väriavaruudessa useimmiten käytetyt väriprofiilit ovat Microsoftin ja Hewlett-Packardin yhteistyössä kehittämä sRGB sekä Adobe RGB, joista jälkimmäinen suunniteltiin kattamaan mahdollisimman tarkasti CMYK-tulostuksessa toistettavat värisävyt. (Wikipedia 2015c.)

## 5 CASE: ZETA FIGHTERS CINEMATIC TRAILER

Case-projektina oli tuottaa cinematic-traileri lahtelaisen Digital Hammer -pelistudion Zeta-fighters-mobiilipelistä. Projektia varten saatiin kehitystiimiltä valmiit Blender-mallinnusohjelmassa mallinnetut 3D-mallit. Trailerista ei tarkoituksella pyritty tekemään täysin fotorealistista, vaan ideana oli luoda 3D-versio pelin normaalista 2D-avaruustaistelusta, kuitenkin niin, että pelille ominainen synkkä sini-musta-väritys on läsnä. Erikoistehosteiden puolestaan tuli olla uskollisia pelin kaksiulotteisille vastineilleen siten, että olisivat kuitenkin elokuvallisia ja yksityiskohtaisempia.



KUVA 18. Screenshot Zeta Fighters -pelin cinematic-trailerista (Digital Hammer 2015)

Projektin kompositointi toteutettiin kokonaisuudessaan Adoben After Effects -ohjelmassa, hyödyntäen Videocopilotin Element 3D -pluginia. Element 3D päivitettiin projektin aikana V2-versioon, mikä jonkin verran vaikeutti kompositointiprosessia uuden renderöintimoottorin takia. Päivitys avasi kuitenkin uusia visuaalisia mahdollisuuksia, sillä vasta tämä toinen versio tuki muun muassa oikeita valoihin reagoivia heittovarjoja. Jo projektin alussa oli selvää, että kohtausten renderöintiajat tulevat olemaan pitkiä suuria polygonmääriä sisältävien 3D-mallien vuoksi, mistä syystä After Effects ja Element 3D -kombinaatio valittiin ajan säästämiseksi parhaaksi tavaksi toteuttaa kyseinen projekti. Element 3D:n

todella nopean reaaliaikaisen renderöintimoottorin ansioista nähtiin koko ajan työskenneltäessä projektin visuaalinen ilme, mikä 3D-ohjelmassa olisi vaatinut aikaa vievän täyden renderöinnin lasketuttamisen.

Projekti hyödyntää tässä opinnäytetyössä esitellyistä aiheista muun muassa multi-pass- ja depth-kompositointia. Projektissa käytettiin täysin virtuaalista kameraa, sillä niin sanottua live action -kuvaa ei tarvittu traileriin ollenkaan. Lopullinen värimääritys ja kuvien ja äänien leikkaus tehtiin Adobe Premiere Pro CS5.5 -ohjelmassa.

### 5.1 Animointi ja kompositointivaihe

Projekti aloitettiin luomalla tapahtumaympäristö. Etukäteen mallinnetut asteroidit generoitiin paikoilleen Element 3D:n partikkeleina keskelle koordinaatistoon sijoitetun planeetan ympärille. Tämä asteroidivyöhyke toimisi koko animaation tapahtumaympäristönä. Kompositointivaiheen lopussa päädyttiin tuplaamaan asteroidi-vyöhyke, jotta saataisiin toinen, pienempi vyöhyke hieman kauemmaksi ensimmäisestä vyöhykkeestä. Tämä toisi kuviin enemmän syvyyden tuntua. Jokaisen kuvan taustalla oleva avaruus-sumu tehtiin ensisijaisesti environment-mapilla, jotta se myös heijastuisi 3D-mallien pinnoille. Jokaiselle 3D-mallille tehtiin specular-materiaali, joka on tietyllä tavalla vastaava specular-renderpassin kanssa, sillä se määrittelee mallin pinnan heijastavuuden intensiteetin tietyissä kohdissa. Avaruussumuun lisättiin kuitenkin väri- ja etäisyysvaihtelua generoimalla asteroidien tavoin, mutta satunnaisesti, plane-objekteja, joille liitettiin tekstuuriksi osittain läpinäkyviä fraktaaleja.

Valaistus ja linssiheijastukset tehtiin jo melko varhaisessa vaiheessa, jotta saatiin paremmin kiinni videon visuaalisesta ilmeestä ja myös paremmin kontrolloitua linssiheijastuksia, etteivät ne sotkisi liikaa toimintaa. Linssiheijastukset luotiin Videocopilotin Optical Flares -pluginilla. Toki After Effectissä olisi ollut omatkin linssiheijastukset, mutta Optical Flaresin linssiheijastukset näyttävät paljon paremmilta ja ne reagoivat kameran liikkeeseen paremmin ja niitä pystyy jopa muokkaamaan monipuolisesti sekä tarvittaessa luomaan itse. Lisäksi liitännäinen osaa kiinnittää linssiheijastukset suoraan After Effectsin valoihin, mikä helpotti huomattavasti työskentelyä, sillä kun valon paikkaa siirrettiin, liikkui siihen kyt-

ketty linssiheijastus samalla. Tästä oli hyötyä etenkin avaruusalusten moottoreita tehtäessä, kun linssiheijastuksien liikettä ei tarvinnut animoida erikseen moottorihin asetettujen valojen liikkeeseen.

Trailerin avauskuvaan (kuva 19) haluttiin tehdä vähän jotain erilaista valaistuksen suhteen, joten siihen päädyttiin lisäämään valonsäteet, jotka paistavat asteroidien välistä. Haaste tässä oli se, että valonsäteiden piti reagoida kameran liikkeeseen, mutta myös asteroidin kevyeen pyörimisliikkeeseen. Efekti vaati 3D-tilassa olevan valonlähteen sijainnin sitomisen kauempana z-akselilla olevaan null-objektiin expressionilla. Expressionit ovat koodinpätkiä, joita voi kirjoittaa After Effectsissä layereiden parametreille ja muun muassa linkittää niitä toisiinsa. Esimerkiksi yhden parametrin arvon muutos muuttaa toisen parametrin arvoa kirjoitetun funktion mukaisesti.



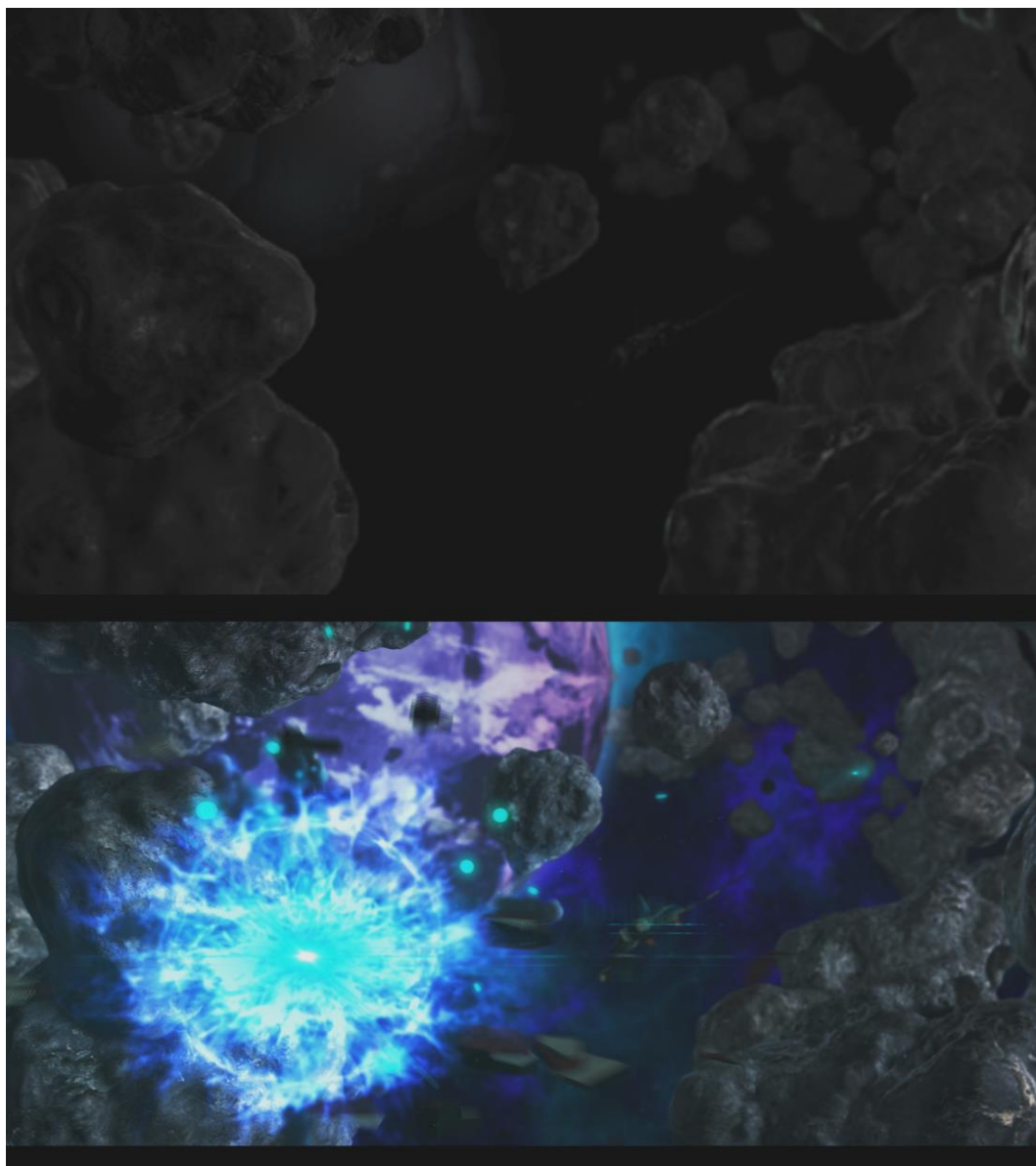
KUVA 19. Ylempänä Zeta Fighters-trailerin kompositoimaton avauskuva, jossa ainoastaan 3D-mallit. Alempi on lopullinen, viimeistelty kuva (Digital Hammer 2015)

Kompositoinnissa oli kuitenkin ongelmia, sillä Element 3D ja 3D-layerit eivät lomittuneet keskenään, vaan layerit renderöityivät aina joko Element-layerin alle tai päälle. Tämä johti siihen, että Element 3D:stä piti laskettaa Z-depth-composite pass, jota käytettiin trackmattena 3D-layerien kanssa, jotta elementit saataisiin oikeaan järjestykseen. Trailerin puolella välissä on kohta, jossa avaruusalus ilmestyy sumupilvestä. Tämä olisi ollut todella helppo tehdä, jos After Effects tukisi deep-dataa tai jos Element 3D -liitännäinen reagoisi volumetrisesti 3D-partikkeli-efekteihin. Silloin 3D-mallin olisi voinut sijoittaa partikkelitehosteen

sisään ja se paljastuisi sieltä sumun tiheyden mukaan aluksen lähestyessä kameraa. Lopulta onnistuttiin kuitenkin luomaan efekti, joka paljastaa avaruusaluksen asteittain sen lentäessä hiljalleen kameraa kohti. Efekti vaati avaruusaluksen 3D-mallin kytkemisen luma-trackmattella sen omaan Z-depth-mapiin, joka animoitiin liukuvärinä mustasta valkoiseksi.

Kun alukset, aseet ja erikoistehosteet oli animoitu ja sijoitettu renderöintijärjestyksellisesti oikein suhteessa toisiinsa, animoitiin syväterävyys suoraan After Effectsin kamerasta, sillä se kykeni tunnistamaan samanaikaisesti Element 3D:n kappaleiden sekä 3D-layerien etäisyyden toisistaan. Syväterävyys onnistui ongelmitta, mutta liike-epäterävyyttä After Effects ei kyennyt laskemaan omatoimisesti vaan jätti liikehäiveeseen pykälää, sen sijaan että häivytyks olisi ollut tasainen. Onneksi Element 3D tarjosi mahdollisuuden yliajaa Afterin oman liike-epäterävyyden asetukset, ja lisäämällä Element 3D:n motionblurin näytteiden määrää saatiin lopulta lasketettua siisti liike-epäterävyys liikkuville 3D-malleille, kuitenkin huomattavasti kasvaneen renderöintiajan kustannuksella. Toki After Effects olisi suoraankin tarjonnut mahdollisuuden nostaa liike-epäterävyyden näytteiden määrää, mutta se olisi laskenut jokaiselle layerille uudet näytteet, sen sijaan kun korjattavaa virhettä oli ainoastaan 3D-objektien liike-epäterävyydessä.

Ennen lopullista renderöintiä lasketettiin kaikille 3D-kappaleille specular- ja ambient occlusion -passit, jotta saatiin valo ja varjostukset paremmin haliintaan kappaleiden pinnoilla. Haluttiin myös, että alukset ottavat visuaalisesti pientä vahinkoa aina ollessa räjähdysten lähellä, joten päädyttiin tekemään aluksien materiaaleille normal-passit, joilla tehtiin kevyitä naarmuja ja lommoja.



KUVA 20. Kuvassa ylempänä specular-composite pass ja alempana lopullinen kuva (Digital Hammer 2015)

## 5.2 Jälkikäsittely

Trailerin visuaalinen ilme on tarkoituksella hyvin synkkä, sillä videon värimaailma on uskollinen pelin omalle väripaletille, jolloin sinertävät sävyt ovat mustan kanssa pääosassa. Myöskin pelin ikoninen punainen planeetta on trailerin alussa läsnä, minkä tekemiseeseen piti planeetan 3D-mallille rakentaa illumination-, reflection- ja specular -render passit, jotta saatiin värjättyä planeetta punaiseksi vain niiltä osin, mitkä altistuvat suoraan kirkkaille valonlähteille.



Trailerin kuvanlaatua on tarkoituksenmukaisesti heikennetty matkimalla oikean kameran linssivirheitä: siihen on muun muassa linssiheijastusten lisäksi lisätty kevyt vingette reunoihin, jotta saadaan hienovaraisesti ohjattua katsojan huomio keskellä ruutua tapahtuvaan toimintaan. Kohina on kuitenkin tarkoituksella jätetty pois, sillä traileri ei sisällä yhtään live action -kuvaa, jonka kohinaan cgi-kuvat pitäisi yhdistää. Myöskään erikoistehosteisiin ei ole hyödynnetty oikeasti kuvattuja savu- tai tulielementtejä, vaan kaikki on tehty digitaalisesti After Effectsin sisällä. Jos videossa esiintyisi jossain kohtaan niin sanottua bandingiä, eli reuna-artifaktia tai epäpuhtaisuutta gradientteissa eli liukuväreissä, voisi kohinalla koittaa rikkoa kyseiset epäpuhtaudet, mutta siihen tässä tapauksessa ei ollut tarvetta.

## 6 YHTEENVETO

Kompositointi on luova prosessi, joka ei ole sidoksissa vain yhteen oikeaan toimintatapaan, vaan vaihtoehtoja on monia. Valintoja täytyy tehdä jo esituontannossa käytössäolevien ohjelmistojen ja työntekijälle tai tiimille sopivan workflown eli työskentelytavan asettamien rajoitusten ja mahdollisuuksien perusteella. Layer- ja node -pohjaisilla kompositointiohjelmissa voidaan hyvin pitkälti tehdä samat asiat, vaikka ohjelmat toimivatkin täysin eri tavoin. Lähtökohtaisesti kuitenkin esimerkiksi After Effectsin 3D-työkalut eivät ole niin monipuoliset kuten Nukessa, mutta liitännäisillä voidaan jossain määrin paikata tarvittavia työkaluja ja toimintoja. On myös mahdollista käyttää 3D-mallinnusohjelmaa kompositointiohjelman rinnalla ja renderöidä tarvittavat 3D-mallit tai animaatiot render passeina 3D-kompositointivaiheen helpottamiseksi.

Digitaalinen kompositointi vaatii paljon teknistä osaamista ja visuaalista silmää, mutta se vaatii myös ymmärrystä aidon kameran ja sen objektiivin käyttäytymisestä. Aidon kameran simuloiminen digitaalisesti linssivirheineen lisää komposition realistisuutta, mutta on myös välttämätöntä live action -kuvaan kompositoitaessa. Ilman täydellistä cameratrackia, on elementtien sijoittaminen paikoilleen liikkuvassa kuvassa hyvin vaikeaa, ellei jopa mahdotonta. Lisäksi syväterävyys, liike-epäterävyys ja kohina ovat välttämättömiä, jotta CGI-elementin puhtautta ja tarkkuutta saadaan heikennettyä tarpeeksi, etteivät ne erottuisi liian selkeänä live action -kuvasta.

Kompositointi videoissa ei ole vain visuaalisesti näyttävien kuvien rakentamista, vaan myös toimivan kokonaisuuden rakentamista. Kohtauksien on toimittava joukkona kuvia, jotka tukevat yhtenäisin väriskaaloin uskottavasti tarinankerron-  
taa, kuitenkin harhauttamatta katsojan huomiota itse tarinasta.

## LÄHTEET

Adobe. 2015a. After Effects CC [viitattu 10.2.2015]. Saatavissa:

<http://www.adobe.com/fi/products/aftereffects/versions.html>

Adobe. 2015b. Preparing and importing 3d image files [viitattu 10.2.2015]. Saa-

tavissa: <https://helpx.adobe.com/after-effects/using/preparing-importing-3d-image-files.html>

Agarunov, E. 2010 The History of Mattepainting [viitattu 9.2.2015]. Saatavissa:

<http://design.tutsplus.com/articles/the-history-of-matte-painting-basix--psd-10322>

Alexandrov, G. 2014. 5 ways to use render passes in blender [viitattu 14.2.2015].

Saatavissa: <http://www.creativeshrimp.com/5-ways-to-use-render-passes.html>

Alvarez, A. 2014. Rendering passes and layers [viitattu 11.2.2015]. Saatavissa:

[http://www.thegnomonworkshop.com/tutorials/passes\\_layers.html](http://www.thegnomonworkshop.com/tutorials/passes_layers.html)

Birn, J. 2006. Digital lightning & rendering [viitattu 16.1.2015]. Saatavissa:

<http://www.3drender.com/light/compositing/index.html>

Cambridge in colour. 2015. Understanding camera lens flare [viitattu 5.1.2015].

Saatavissa: <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/lens-flare.htm>

Cristiansen, M. 2011. After Effects CS5 Visual Effects and Compositing studio techniques. Berkeley, CA: Peachpit.

Failes, I. 2012. Vampire Hunter: Two killer sequences [viitattu 10.2.2015]. Saa-

tavissa: <http://www.fxguide.com/featured/vampire-hunter-two-killer-sequences/>

Filmmaker IQ. 2013. Hollywood's history of faking it | evolution of greenscreen compositing [viitattu 12.1.2015]. Saatavissa:

<http://filmmakeriq.com/lessons/hollywoods-history-of-faking-it-the-evolution-of-greenscreen-compositing/>

Flyktman, R. 2015. Liike-epäterävyys [viitattu 5.1.2015]. Saatavissa:

<http://www.kuvakenno.fi/digikuvauus/liike-epateravyys.html>

Hedin, H. 2010. Comparison of node based versus layer based compositing [viitattu 7.1.2015]. Saatavissa: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:327273/FULLTEXT02>

Hillman, P. 2014. The art of deep compositing [viitattu 3.1.2015]. Saatavissa: <http://www.fxguide.com/featured/the-art-of-deep-compositing/>

Hullfish, S. 2012. The art and tehniue of digital color correction. Waltham, MA: Elsevier Inc.

Kotecky, C. 2013. Techniques for adding cromatic aberration in after effects [viitattu 14.2.2015]. Saatavissa: <http://lesterbanks.com/2013/07/techniques-for-adding-chromatic-aberration-in-after-effects/>

Mansurow, N. 2013. What is vingetting? [viitattu 14.2.2015]. Saatavissa: <https://photographylife.com/what-is-vignetting>

Maxon. 2015. Cinema 4D Lite [viitattu 10.2.2015]. Saatavissa: <http://www.maxon.net/products/cineware-cinema-4d-lite/overview.html>

Mickey. 2009. After Effects traingin class [viitattu 10.2.2015]. Saatavissa: [http://www.geniusdv.com/news\\_and\\_tutorials/author/mickey/2009/03/](http://www.geniusdv.com/news_and_tutorials/author/mickey/2009/03/)

Montgomery, J. 2014. Blackmagic 'relaunches' Fusion [viitattu 10.2.2015]. Saatavissa: <http://www.fxguide.com/quicktakes/blackmagic-relaunches-fusion/>

Openexr. 2014. OpenEXR [viitattu 20.1.2015]. Saatavissa: [www.openexr.com](http://www.openexr.com)

Photoblogstop. 2011. Photoshop blend modes explained [viitattu 6.3.2015]. Saatavissa: <http://photoblogstop.com/photoshop/photoshop-blend-modes-explained>

School of Motion. 2014. Nuke vs After Effects for compositing. Luento sivustolla: <http://www.schoolofmotion.com/nuke-vs-ae-compositing>

Seymour, M. 2014. The art of deep compositing [viitattu 3.1.2015]. Saatavissa: <http://www.fxguide.com/featured/the-art-of-deep-compositing/>

Sudharakan, S. 2013. Layer-based vs node-based compositing [viitattu 10.1.2015]. Saatavissa: <http://wolfcrow.com/blog/layer-based-vs-node-based-compositing/>

Tavares, R. 2015. Design a story-driven fantasy character. 3D world 4/2015, 52.

The Foundry. 2015. Keylight [viitattu 16.2.2015]. Saatavissa: <https://www.thefoundry.co.uk/products/plugins/keylight/>

Videocopilot. 2015. Element 3D v2 [viitattu 20.1.2015]. Saatavissa: <https://www.videocopilot.net/products/element2/>

Videocopilot. 2012. Depth compositing [viitattu 11.2.2015]. Saatavissa: [http://www.videocopilot.net/tutorials/depth\\_compositing/](http://www.videocopilot.net/tutorials/depth_compositing/)

Welsh, T. 2010. The big ol' compositing application rundown [viitattu 10.2.2015]. Saatavissa: <http://cgi.tutsplus.com/articles/the-big-ol-compositing-application-rundown--ae-5778>

Wiesen, G. 2014. What is 3D compositing? [viitattu 3.1.2015]. Saatavissa: [www.wisegeek.com/what-is-3d-compositing.htm](http://www.wisegeek.com/what-is-3d-compositing.htm)

Wikipedia. 2015a, Croma Key [viitattu 16.9.2015]. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Chroma\\_key](http://en.wikipedia.org/wiki/Chroma_key)

Wikipedia. 2015b. Digital Compositing [viitattu 7.1.2015]. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_compositing](http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_compositing)

Wikipedia. 2015c. RGB-värimalli [viitattu 16.2.2015]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/RGB-v%C3%A4rimalli>

Wikipedia. 2014. Väriaberraatio [viitattu 14.2.2015]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/V%C3%A4riaberraatio>

Wright, S. 2006. Digital compositing for film and video. Burlington: Elsevier Inc.

## Kuvat

1. Autodesk. 2015. Flame [viitattu 17.2.2015]. Saatavissa: <http://www.autodesk.com/products/flame-family/features/flame-3d-visual-fx/all/gallery-view>
2. Agarunov, E. 2010 The History of Mattepainting [viitattu 9.2.2015]. Saatavissa: <http://design.tutsplus.com/articles/the-history-of-matte-painting-basix--psd-10322>
3. Filmmaker IQ. 2013. Hollywood's history of faking it | evolution of greenscreen compositing [viitattu 12.1.2014]. Saatavissa: <http://filmmakeriq.com/lessons/hollywoods-history-of-faking-it-the-evolution-of-greenscreen-compositing/>
4. Young, R. 2014. Flowchat tool in after effects [viitattu 7.1.2015]. Saatavissa: <http://provideocoalition.com/ryoung/story/flowchart-tools-in-after-effects>
5. Hand, R. 2009. Nuke 5.2 shipping now from the foundry [viitattu 7.1.2015]. Saatavissa: <http://www.vizworld.com/2009/08/nuke-5-2-now-shipping-from-the-foundry/#sthash.cVepW0ID.6mpzUY4K.dpbs>
6. Alvarez, A. 2014. Rendering passes and layers [viitattu 11.2.2015]. Saatavissa: [http://www.thegnomonworkshop.com/tutorials/passes\\_layers.html](http://www.thegnomonworkshop.com/tutorials/passes_layers.html)
7. Alexandrov, G. 2014. 5 ways to use render passes in blender [viitattu 14.2.2015]. Saatavissa: <http://www.creativeshrimp.com/5-ways-to-use-render-passes.html>
8. Videocopilot. 2015. Using depth compositing [viitattu 17.2.2015]. Saatavissa: [http://www.videocopilot.net/docs/element/compositing\\_element\\_3d/using\\_depth\\_compositing/](http://www.videocopilot.net/docs/element/compositing_element_3d/using_depth_compositing/)
- 9,10. Failes, I. 2012. Vampire Hunter: Two killer sequences [viitattu 10.2.2015]. Saatavissa: <http://www.fxguide.com/featured/vampire-hunter-two-killer-sequences/>
11. Mickey. 2009. After Effects training class [viitattu 10.2.2015]. Saatavissa: [http://www.geniusdv.com/news\\_and\\_tutorials/author/mickey/2009/03/](http://www.geniusdv.com/news_and_tutorials/author/mickey/2009/03/)

12. Young, R. 2014. Element 3D v2 released [viitattu 14.2.2015]. Saatavissa: <http://provideocoalition.com/ryoung/story/video-copilot-element-3d-v2>
13. Rastogi, A. 2006 Keying in After Effects [viitattu 16.2.2015]. Saatavissa: <http://www.cgarena.com/freestuff/tutorials/ae/keyingtuts/keying.html>
14. O'Neil, B. 2010. Cameratracker review [viitattu 16.2.2015]. Saatavissa: [https://library.creativecow.net/oneil\\_bill/camera-tracker-review/1](https://library.creativecow.net/oneil_bill/camera-tracker-review/1)
15. RedGiant. 2011. Plot device [viitattu 10.2.2015]. Saatavissa: <http://www.redgiant.com/>
16. Mayden, A. 2015. Understanding chromatic aberration and why lens effects are important [viitattu 14.2.2015]. Saatavissa: <http://blog.digitaltutors.com/understanding-chromatic-aberration-lens-effects-important/>
17. Mansurow, N. 2013. What is vignetting? [viitattu 14.2.2015]. Saatavissa: <https://photographylife.com/what-is-vignetting>
- 18-20. Digital Hammer. 2015. Zeta Fighters.

